



SKRIPSI ME 141501

**STUDI KASUS MODIFIKASI DAUN PROPELLER
PADA MV. MERATUS BARITO**

DIMAS ADIYATMA DWI RAHMAN
NRP. 4213 106 001

Dosen Pembimbing
Irfan Syarif Arief, ST., MT.
Amiadji, M.M., M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2016**



SKRIPSI ME 141501

**STUDI KASUS MODIFIKASI DAUN PROPELLER
PADA MV. MERATUS BARITO**

DIMAS ADIYATMA DWI RAHMAN
NRP. 4213 106 001

Dosen Pembimbing
Irfan Syarif Arief, ST., MT.
Amiadji, M.M., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2016



FINAL PROJECT ME 141501

**STUDY CASE OF MODIFICATION PROPELLER
BLADE AT MV . MERATUS BARITO**

**DIMAS ADIYATMA DWI RAHMAN
NRP 4213 106 001**

Lecturer

Irfan Syarif Arief ,S.T., M.T

Amiadji,M.M.,M.Sc.

**MARINE *ENGINEERING* DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2016**

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI KASUS MODIFIKASI DAUN PROPELLER
PADA MV. MERATUS BARITO
SKRIPSI

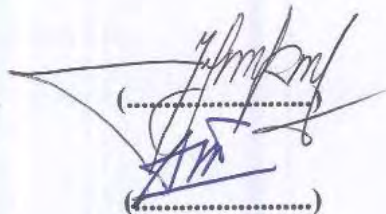
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Manufacture and Design (MMD)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

DIMAS ADIYATMA DWI RAHMAN
NRP 42 13 106 001

Disetujui oleh Pembimbing SKRIPSI :

Irfan Syarif Arief ,S.T., M.T.
NIP. 1959 0410 1987 01 1001

Amiadji,M.M.,M.Sc.
NIP. 1961 0324 1988 03 1001



(.....)

(.....)

SURABAYA
JANUARI 2016

**LEMBAR PENGESAHAN
STUDI KASUS MODIFIKASI DAUN PROPELLER
PADA MV. MERATUS BARITO**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Bidang Studi Marine Manufacture and Design (MMD)
Program S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIMAS ADIYATMA DWI RAHMAN

NRP. 4213 106 001

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan



Dr. Eng M. Badrus Zaman, ST., MT.

NIP. 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA

Januari, 2016

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunia Hidayah, Rahmat dan bimbingan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“STUDI KASUS MODIFIKASI DAUN PROPELLER PADA MV. MERATUS BARITO ”**

.Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materiil sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Secara khusus penulis sampaikan terima kasih kepada :

1. Ibuku Hj. Siti Zulaihah,S.Pd.I. dan Ayahku H. Abdulloh.S.Ag.,M.Pd.I yang selalu mendukung dan mendoakan tanpa henti serta Kakak Afif Zuhri Arfianto ST.,MT. yang selalu memberikan motivasi semangat belajar.
2. Bapak Dr. Ir. Eng M. Badrus Zaman, ST.,MT.selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
3. Bapak Irfan Syarif Arief, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama dan Bapak Amiadji,MM.,M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua.

4. Teman - Teman Seperjuangan yang bersama mengerjakan Tugas akhir.
5. Teman-teman dan segenap pengurus Laboratorium Marine Manufacture and Design (MMD)
6. Teman-teman seperjuangan Lintas Jalur 13 yang selalu memberikan tempat nyaman di hati dan selalu memberi dukungan yang terbaik
7. Heni masruroh yang selalu memberi dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
8. Dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis merasakan bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat diharapkan oleh penulis. Akhir kata, semoga semua ini mendapat berkah dan rahmat dari Allah SWT dan dapat bermanfaat bagi para pembaca maupun penulis untuk bahan studi dan review selanjutnya di masa mendatang. Mohon maaf atas kekhilafan.

Surabaya, 10 Januari 2016

STUDI KASUS MODIFIKASI DAUN PROPELLER PADA MV. MERATUS BARITO

Nama Mahasiswa : Dimas Adiyatma Dwi Rahman
NRP : 42 13 106 001
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarif Arief ,S.T, M.T
2. Amiadji,MM,.M.Sc,

Abstrak

Salah satu bagian paling penting dari kapal selain konstruksi dan mesin terdapat propeller sebagai sistem propulsi berupa baling-baling, berputarnya propeller akan menghasilkan daya dorong yang akan membuat kapal dapat berlayar, Pada kapal MV.Meratus Barito dilakukan modifikasi daun propeller dikarenakan terjadi overload pada mesin dan berakibat berkurangnya sea margin pelayaran, sea margin sangat penting sebagai daya cadangan karena saat pelayaran terdapat ombak besar dan hewan laut yang menempel pada kulit kapal, untuk memenuhi kebutuhan standar sea margin maka dilakukan modifikasi berupa pemotongan daun propeller untuk mengurangi beban mesin dan dapat menambah persentase *sea margin*.

Proses modifikasi daun propeller yang dilakukan terlebih dahulu membuat gambar 4 model propeller dengan ukuran diameter 2700 mm,2650 mm,2600 mm dan 2550 mm.Setelah pembuatan model selesai 4 model tersebut di simulasikan sehingga dapat di ketahui *pressure,torque,.area* dan *wall shear*. Sehingga data yang di didapat yaitu daya propeller, efisiensi propeller, thrust dan torsi. hasil dari modifikasi propeller MV.Meratus Barito propeller yang dipilih yaitu dengan diameter 2600 mm mempunyai *sea margin* 15% dan efisiensi 0,537.

Kata Kunci : **daya dorong, efisiensi, modifikasi propeller, sea margin**

STUDY CASE OF MODIFICATION PROPELLER BLADE AT MV. MERATUS BARITO

Name : Dimas Adiyatma Dwi Rahman
NRP : 42 13 106 001
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor : 1. Irfan Syarif Arief ,S.T, M.T
2. Amiadji,MM,.M.Sc,

Abstract

One of the most important parts of the ship beside construction and machinery there is propeller as system propulsion in ship, output from propeller spins will generate thrust and make the ship can sail, MV.Meratus Barito propeller modification occurred due to overload on the machine and result in reduced sea margin when sailing, sea margin is very important as the emergency power when there are big waves and barnacle or fouling on shell, to get standart of sea margin the leaf propeller need to modify with cut the trail edge to reduce engine load and can increase the percentage of sea margin .

Propeller blade modification process is make the i 4 models of propeller with a diameter of 2700 mm , 2650 mm , 2600 mm and 2550 mm. than manufacture of the finished 4 models are simulated so as to be in the know of pressure , torque , and wall shear .area , So that the obtained are in power propeller , propeller efficiency , thrust and torque . the result of the modification of propeller MV.Meratus Barito propeller with a diameter of 2600 mm which has a 15 % sea margin and efficiency of 0.537.

Key words: thrust, efficiency, modification propeller, sea margin

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin, puji syukur kehadiran Allah SWT atas karunia Hidayah, Rahmat dan bimbingan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“STUDI KASUS MODIFIKASI DAUN PROPELLER PADA MV. MERATUS BARITO ”**

.Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materiil sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Secara khusus penulis sampaikan terima kasih kepada :

1. Ibuku Hj. Siti Zulaihah,S.Pd.I. dan Ayahku H. Abdulloh.S.Ag.,M.Pd.I yang selalu mendukung dan mendoakan tanpa henti serta Kakak Afif Zuhri Arfianto ST.,MT. yang selalu memberikan motivasi semangat belajar.
2. Bapak Dr. Ir. Eng M. Badrus Zaman, ST.,MT.selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
3. Bapak Irfan Syarif Arief, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing pertama dan Bapak Amiadji,MM.,M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua.

4. Teman - Teman Seperjuangan yang bersama mengerjakan Tugas akhir.
5. Teman-teman dan segenap pengurus Laboratorium Marine Manufacture and Design (MMD)
6. Teman-teman seperjuangan Lintas Jalur 13 yang selalu memberikan tempat nyaman di hati dan selalu memberi dukungan yang terbaik
7. Heni masruroh yang selalu memberi dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
8. Dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis merasakan bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat diharapkan oleh penulis. Akhir kata, semoga semua ini mendapat berkah dan rahmat dari Allah SWT dan dapat bermanfaat bagi para pembaca maupun penulis untuk bahan studi dan review selanjutnya di masa mendatang. Mohon maaf atas kekhilafan.

Surabaya, 10 Januari 2016

DAFTAR ISI

SKRIPSI ME 141501	ii
FINAL PROJECT ME 141501	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
Abstrak	ix
Abstract	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 TUJUAN	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pengenalan <i>propulsor</i> (alat gerak kapal)	3
2.2 <i>Fixed Pitch Propellers</i> (FPP)	3
2.3 <i>Ducted Propeller</i>	4
2.4 <i>Contra-rotating propellers</i>	5
2.5 <i>Overlapping Propellers</i>	5
2.6 <i>Controllable Pitch Propellers</i> (CPP)	6

2.7 <i>Waterjet Propulsion System</i>	7
2.8 <i>Cycloidal Propellers</i>	8
2.10 <i>Super-conducting Electric Propulsion</i>	11
2.11 <i>Azimuth Podded Propulsion System</i>	11
BAB III	17
METODOLOGI	17
3.1 Identifikasi dan perumusan masalah	17
3.2 Studi literatur	17
3.3. Pembutan model propeller	18
3.4. Pengujian Model dan Pencatatan Data	18
3.5. Analisa Data dan Pembahasan	18
3.6 Kesimpulan dan Saran	18
3.7. Dokumentasi	18
BAB IV	21
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Penamaan Model	21
4.2 Penggambaran Model	21
4.2 Model Hasil Simulasi	28
4.3 Data Hasil Simulasi	32
4.4 Perhitungan Data	33
4.5 Data Perhitungan Hasil Simulasi	37
4.6. Pembahasan	39
4.6.1 Nilai KT, KQ dan Efisiensi pada P-2.7 (Sebelum Modifikasi)	39
4.6.2 Nilai KT, KQ dan Efisiensi pada P-2.65 (Modifikasi 1)	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Fixed Pitch Propellers</i>	4
Gambar 3.2 <i>Ducted Propeller</i>	4
Gambar 3.3 <i>Contra-rotating propellers</i>	5
Gambar 3.4 <i>Overlapping Propellers</i>	6
Gambar 3.5 <i>Controllable Pitch Propellers (CPP)</i>	7
Gambar 3.6 <i>Waterjet Propulsion System</i>	8
Gambar 3.7 <i>Cycloidal Propellers</i>	9
Gambar 3.8 <i>Paddle Wheels</i>	10
Gambar 3.9 <i>Super-conducting Electric Propulsion</i>	11
Gambar 3.10 <i>Azimuth Podded Propulsion System</i>	12
Gambar 4.2 Surface dari satu blade Propeller	22
Gambar 4.1 Garis dari titik-titik koordinat propeller..	22
Gambar 4.3 Blade yang sudah di Rotate	23
Gambar 4.4 Propeller 4 blade beserta boss	23
Gambar 4.5 Propeller yang sudah diberi domain	24
Gambar 4.6 Hasil meshing blade dan boss	25
Gambar 4.7 Hasil meshing seluruh part	25
Gambar 4.8 Tampilan propeller pada CFX	26
Gambar 4.9 Tampilan seluruh bagian pada CFX	26
Gambar 4.10 Kontur tekanan <i>face(a)</i> dan <i>back(b)</i> pada diameter 2,7 m	28
Gambar 4.11 Kontur tegangan geser <i>back (a)</i> dan <i>face(b)</i> pada $D = 2.7$ m	28
Gambar 4.12 Kontur tekanan <i>face (a)</i> dan <i>back (b)</i> pada diameter 2,6 m	29
Gambar 4.13 Kontur tegangan geser <i>face (a)</i> dan <i>Back (b)</i> pada diameter 2,6 m	29
Gambar 4.14 Kontur tekanan <i>face (a)</i> dan <i>back (b)</i> pada diameter 2,65 m	30
Gambar 4.15 Kontur tegangan geser <i>face (a)</i> dan <i>back (b)</i> pada diameter 2,65 m	30

Gambar 4.16 Kontur tekanan <i>face</i> (a) dan <i>back</i> (b) pada diameter 2,55 m	31
Gambar 4.17 Kontur tegangan geser <i>face</i> (a) dan <i>back</i> (b) pada diameter 2,55 m	31
Gambar 4.18 Grafik nilai KT,KQ dan J pada model P-2,7	39
Gambar 4.19 Grafik nilai KT,KQ dan J pada model P-2.65.....	40
Gambar 4.20 Grafik nilai KT,KQ dan J pada model P-2.6	41
Gambar 4.21 Grafik nilai KT,KQ dan J pada model P-2.55.....	42
Gambar 4.23 Daya Propeller Dengan Engine Envelope	44

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Variasi hasil pengujian.....	32
Tabel 4.2 Data hasil simulasi pada propeller dengan diameter 2700 mm	37
Tabel 4.3 Data hasil simulasi pada propeller dengan diameter 2650 mm	37
Tabel 4.5 Data hasil simulasi pada propeller dengan diameter 2550 mm	38
Tabel 4.4 Data hasil simulasi pada propeller dengan diameter 2600 mm	38
Tabel 4.6 Data Akhir hasil pengujian 4 model propeller	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Propeller merupakan bentuk alat penggerak kapal yang paling umum digunakan dalam menggerakkan kapal. Propeller memindahkan tenaga dengan cara merubah gaya putar dari baling-baling menjadi daya dorong untuk menggerakkan badan kapal dengan perantara massa air dengan memutar bilah-bilah yang bersumbu pada poros.

Sebuah kapal dalam beroperasinya dibutuhkan peralatan yang mendukung tingkat keselamatan dan keamanan yang baik dan sesuai standar yang telah ditentukan oleh *class*, dalam dunia perkapalan untuk mempertahankan sertifikat layak untuk berlayar dari *class* maka diharuskan dilakukan predocking survey untuk mengetahui kondisi kapal, pengedockan dilaksanakan pada waktu-waktu tertentu dan dengan jangka waktu yang berbeda tiap-tiap kapal tergantung dari waktu pembuatan kapal dan penjadwalan untuk docking kapal, secara umum kapal dilakukan pengecekan tiap tahun namun tidak harus docking, waktu diharuskannya naik dock untuk reparasi meskipun kondisi kapal masih bagus adalah *intermediate survey* (2-3 tahun) dan *special survey* (5 tahunan)

Beberapa masalah yang dialami pada MV.Meratus barito berada pada sistem propulsinya maka PT.Meratus Line berupaya memperbaiki sistem propulsi pada kapal MV.Meratus barito yang dilakukan pengedockan *special survey* pertama setelah sebelumnya naik dock *intermediate survey* di PT.Indonesia Marina Shipyard (PT.IMS) di Gresik, salah satunya adalah penggantian sekaligus modifikasi daun propeller. Hal ini dikarenakan sebelum docking mesin kapal MV.Meratus barito mengalami kelebihan beban/*overload*.

Setelah dilakukan analisa dengan kurva beban mesin ternyata kondisi mesin sudah mencapai pada engine limit curve sehingga bila mesin dipaksakan beroperasi maka

mesin akan terus mengalami overload sehingga diperlukan penambahan *sea margin*. *sea margin* digunakan sebagai daya tambahan saat pelayaran, jika sebuah kapal tidak memiliki cadangan tenaga sea margin atau daya tambahan yang cukup maka dapat menyebabkan mesin overload saat pelayaran sehingga dilakukan modifikasi daun propeller. Pada proses memodifikasi daun propeller akan dikurangi diameternya atau dipotong pada ujung-ujungnya agar mengurangi beban putar mesin.

Berdasarkan uraian di atas maka penulis tertarik untuk mengkaji lebih dalam tentang masalah yang dialami oleh MV.Meratus barito yang dilakukan pengedockan *special survey* di PT.Indonesia Marina Shipyard (PT.IMS) di Gresik dan mengemukakan dalam bentuk sebuah tugas akhir dengan judul : “Study Kasus Modifikasi Perubahan Daun Propeller pada MV.Meratus Barito”.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dari uraian latar belakang diatas dapat ditarik beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana Performance Propeller Sebelum Dan Sesudah di lakukan modifikasi?

1.3 BATASAN MASALAH

Dalam tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan agar fokus terhadap analisa penyebab modifikasi daun propeller secara menyeluruh berdasarkan data dari pihak wartsila dan PT.Meratus Line berupa beberapa kurva mengenai *sea margin* sebelum ataupun sesudah proses modifikasi dan tidak membahas tentang permesinan.

1.4 TUJUAN

Tujuan penulisan ini adalah :

Untuk mengetahui Performance Propeller Sebelum Dan Sesudah di lakukan modifikasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengenalan *propulsor* (alat gerak kapal)

Secara mendasar alat gerak kapal dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua), yaitu : alat gerak kapal yang non-mekanik dan yang mekanik. Alat gerak kapal yang non-mekanik adalah *Dayung* dan *Layar*. Sedangkan alat gerak kapal yang mekanik, adalah sebagai berikut :

1. Fixed Pitch Propeller
2. Ducted Propeller
3. Contra-rotating Propeller
4. Overlapping propeller
5. Controllable Pitch Propeller
6. Waterjet Propulsion System
7. Cyclodial Propeller
8. Paddle Wheels
9. Superconducting Electric Propulsion System
10. Azimuth Podded Propulsion System

2.2 *Fixed Pitch Propellers* (FPP)

- a. Baling-baling jenis ini secara „tradisi“ telah membentuk basis produksinya
- b. Baling-baling ini secara umum telah memenuhi „proporsi“ yang tepat terutama jenis rancangan dan ukurannya, baik itu untuk baling-baling perahu motor yang kecil hingga untuk kapal muatan curah hingga kapal tangki yang berukuran besar
- c. FPP ini adalah mudah untuk membuatnya



Gambar 2.1 *Fixed Pitch Propellers*

2.3 Ducted Propeller

Baling-baling *Ducted* terdiri dari dua komponen, yaitu :

- a. Saluran pipa (*Duct*) berbentuk seperti gelang yang mana mempunyai potongan melintang berbentuk aerofoil, dan
- b. Baling-baling keberadaan „saluran pipa“ (*duct*) akan mengurangi gaya-gaya tekanan yang *menginduced* pada lambung kapal. Baling-baling jenis ini dikenal dengan sebutan Kort Nozzles, melalui pengenalan Kort Propulsion Company's sebagai pemegang Hak Paten dan asosiasi dari jenis baling-baling ini. Efisiensi Baling-Baling ditingkatkan tergantung atas beban baling-baling.



Gambar 3.2 *Ducted Propeller*

2.4 *Contra-rotating propellers*

Baling-baling jenis ini mempunyai *dua-coaxial propellers* yang dipasang dalam satu sumbu poros, secara tersusun satu didepan yang lainnya dan berputar saling berlawanan arah. Baling-baling ini memiliki keuntungan hidrodinamis terhadap permasalahan penyelamatan energi rotasional „slip stream“ yang mungkin akan „hilang“ bilamana kita menggunakan sistem „single screw propeller“ yang konvensional. Energi yang dapat diselamatkan sekitar 15% dari dayanya. Baling-baling jenis ini biasanya diaplikasikan pada *small outboard units* yang beroperasi pada putaran 1500 sampai dengan 2000 RPM. Untuk aplikasi pada kapal kapal yang berukuran relatif besar terdapat permasalahan teknis yang terkait dengan sistem perporosan yang relatif mempunyai ukuran lebih panjang.

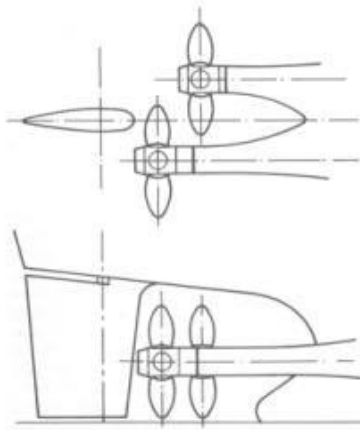


Gambar 3.3 *Contra-rotating propellers*

2.5 *Overlapping Propellers*

Konsep dari baling-baling ini adalah dua propeller tidak dipasang/diikat secara *coaxially*, tapi masing-masing propeller memiliki sumbu poros pada sistem perporosan yang terpisah. Sistem ini dalam prakteknya, adalah sangat jarang diaplikasikan. Meskipun efisiensi propulsi dari sistem ini adalah

lebih tinggi dari *single screw propeller*, namun sistem ini sangat berpengaruh terhadap besarnya tingkat getaran dan kavitasi yang ditimbulkan.



Gambar 3.4 *Overlapping Propellers*

2.6 Controllable Pitch Propellers (CPP)

Pemilihan dalam aplikasi baling-baling CPP dibandingkan dengan penerapan FPP adalah disebabkan oleh kebutuhan yang lebih tinggi untuk pengaturan dalam operasional yang harus lebih fleksibel dari pada kebutuhan efisiensi propulsi pada saat kondisi servis.

Baling-baling CPP menyediakan ekstra dalam tingkat „derajat kebebasan“ melalui kemampuan perubahan „pitch“ dari daun baling-balingnya. Hal ini khususnya untuk kapal-kapal jenis *ferries*, *tugs*, *trawlers*, dan *fisheries* yang membutuhkan kemampuan manouever (olah-gerak) lebih tinggi. Namun demikian, biaya manufaktur/fabrikasinya adalah sangat tinggi serta kebutuhan biaya untuk perawatan dan perbaikan juga relatif tinggi. Sehingga tidak banyak perusahaan pelayaran yang

menggunakan jenis propeller ini, terutama di indonesia yang sedang berkembang dalam dunia maritime.



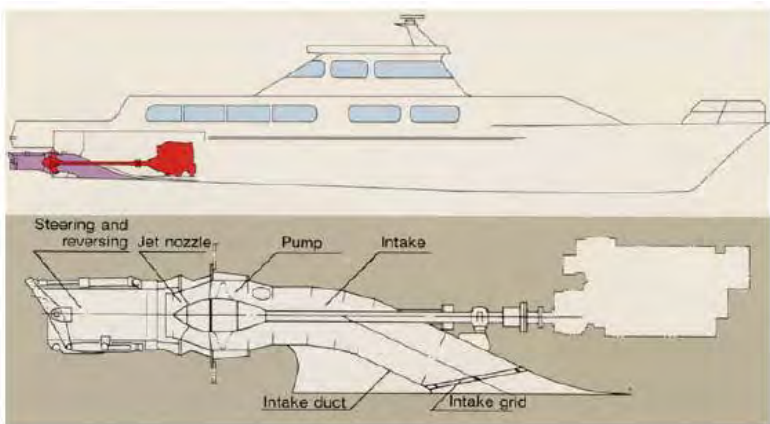
Gambar 3.5 *Controllable Pitch Propellers (CPP)*

2.7 Waterjet Propulsion System

Sistem propulsi *waterjet* telah menjawab tentang kebutuhan akan aplikasi sistem propulsi untuk variasi dari *small high speed crafts*, meski sesungguhnya juga banyak kita jumpai aplikasi sistem propulsi ini pada kapal-kapal yang berukuran relatif besar. Prinsip operasi dari *waterjet*, air dihisap melalui sistem *ducting* oleh *internal pump* yangmana terjadi penambahan energi pada air. Kemudian, air tersebut di semprotkan ke belakang dengan kecepatan yang tinggi. Gaya dorong (*Thrust*) yang dihasilkan merupakan hasil dari penambahan momentum yang diberikan ke air. Sistem lebih disukai untuk suatu baling-baling konvensional. Sebab suatu baling-baling konvensional mengalami *cavitation* pada kecepatan sangat tinggi (45 knots), tetapi di dalam *waterjet unit* pompa mestinya tidak terjadi kavitasi. Sistem propulsi *Waterjet* memiliki kemampuan untuk meningkatkan olah-gerak kapal.



(a) Sistem Propulsi Waterjet



(b) Sketsa sistem Propulsi Waterjet

Gambar 3.6 Waterjet Propulsion System

2.8 Cycloidal Propellers

Sistem *Cycloidal Propellers* adalah juga dikenal dengan sebutan baling-baling poros vertikal meliputi satu set *verically mounted vanes*, enam atau delapan dalam jumlah, berputar pada suatu cakram horisontal atau mendekati bidang horisontal. Sistem ini

mempunyai keuntungan yang pantas dipertimbangkan ketika kemampuan olah gerak dalam mempertahankan posisi stasiun kapal merupakan faktor penting pada perencanaan kapal. Dengan aplikasi *propulsor* jenis ini, maka instalasi kemudi yang terpisah pada kapal sudah tidaklah diperlukan. Sistem memperlengkapi dengan rangka pengaman untuk membantu melindungi *propulsor* tersebut dari kerusakan-kerusakan yang disebabkan oleh sumber eksternal.



Gambar 3.7 *Cycloidal Propellers*

2.9 Paddle Wheels (Roda Pedal)

Salah satu tipe *propulsors* mekanik yang aplikasinya sudah jarang ditemui saat ini. Seperti namanya, maka *Paddle Wheels* ini adalah suatu roda yang pada bagian diameter luarnya terdapat sejumlah bilah/sudu-sudu yang berfungsi untuk memperoleh momentum geraknya. Ada dua tipe bilah/sudu yang diterapkan pada *propulsors* jenis ini, antara lain : *fixed blades* dan *adjustable blades*.

Pada *fixed blades*, sudu-sudu terikat secara mati pada bagian roda pedal tersebut. Sehingga hasil momentum gerak dari roda pedal tidaklah begitu optimal. Namun bila ditinjau dari aspek teknis

pembuatannya adalah sangat jauh lebih mudah daripada *adjustable blades*. Hal ini disebabkan oleh tingkat *kompleksitas* konstruksi – *adjustable blades*-nya, yang mana harus mampu menjaga posisi blades agar selalu tegak lurus terhadap arah gerak kapal. Kelemahan teknis dari propulsors ini adalah terletak pada adanya penambahan perubahan lebar kapal sebagai konsekuensi terhadap penempatan kedua roda pedal di sisi sebelah kiri dan kanan dari badan kapal. Selain itu, keberadaan instalasi roda pedal adalah relatif berat bila dibandingkan dengan *screw propeller*. Sehingga secara umum aplikasi roda pedal membawa konsekuensi juga terhadap berat instalasi motor penggerak kapal. Kemudian paddle-wheels ini juga rentan terhadap gerakan rolling kapal, yang mana akan menyebabkan „ketidak-seimbangan“ momentum gerak yang dihasilkan. Kondisi ini tentu akan mengakibatkan gaya dorong *paddle-wheels* menjadi tidak seragam antara roda disebelah kiri dan kanan kapal, sehingga laju gerak kapal berubah „zig-zag“. Aplikasi yang tepat dari roda pedal ini adalah untuk perairan yang tenang, seperti danau, sungai dan pantai.

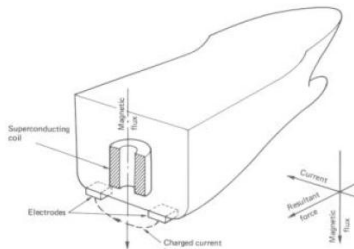


Gambar 3.8 *Paddle Wheels*

2.10 Super-conducting Electric Propulsion

Pada sistem ini tidak perlu disediakan *propulsors* (alat gerak kapal), seperti misalnya *screw propellers* ataupun *paddle-wheels*. Prinsip dasarnya adalah merupakan *electromagnetic propulsion*, yang mana dihasilkan dari interaksi antara *fixed coil* didalam badan kapal dan „arus listrik“ yang dilewatkan melalui air laut oleh elektrodeelektrode yang tempatkan pada bagian dasar (*bottom*) dari lambung kapal.

Gaya yang dihasilkan secara *orthogonal* terhadap medan magnet dan arus listrik, adalah merupakan hasil dari *Fleming's right-hand rule*. Jenis *Propulsion* ini mampu menekan tingkat *noise* dan *vibration* akibat propulsi hidrodinamik, sehingga hal ini menjadikan pertimbangan tersendiri untuk aplikasi pada kapal-kapal angkatan laut. Satu dari masalah utama yang terjadi pada sistem propulsi ini adalah kesulitankesulitan teknis untuk menjaga *superconducting coil* di *zero resistance property*, yang mana hal tersebut dibutuhkan untuk menjaga temperatur *Liquid Helium* hingga mencapai -268°C .



Gambar 3. 9 *Super-conducting*

2.11 Azimuth Podded Propulsion System

Jenis *propulsion system* ini memiliki tingkat olah-gerak kapal dan efisiensi yang tinggi, demikian juga dengan tingkat *noise* dan *cavitation* yang relatif rendah. Saat ini pengguna terbanyak dari sistem *pod units* ini adalah kapal-kapal *cruise liner*.

Pengenalan teknologi pada aplikasi *Pod Propulsion* ini akan membawa perubahan untuk penempatan unit propulsi, yang sedemikian hingga tanpa perlu lagi mempertimbangkan susunan *shaft* atau *space* untuk motor penggerak. Tentu saja, hal ini akan memberikan kesempatan-kesempatan baru kepada *designers* kapal untuk membuat rancangan *„ultimate hullform’*.



Gambar 3.10 *Azimuth Podded Propulsion System*

2.12 Faktor-Faktor pemilihan *Propeller*

1. Diameter *Propeller*

Diameter *propeller* mempunyai andil yang sangat besar dalam performa *propeller*. Diameter *propeller* yang besar pastinya akan mempengaruhi putaran dan juga torsi yang dibutuhkan. Diameter *propeller* yang besar akan memberikan putaran *propeller* yang lebih rendah, akibatnya torsi yang dibutuhkan akan lebih besar. Seperti pada rumus berikut [4]

$$n_{\text{design}} = \frac{V_a}{J \cdot D} \dots \dots \dots (1)$$

n : putaran *propeller* yang didesain setelah EPM

V_a : kecepatan aliran fluida

J : putaran *propeller*

D : diameter *propeller*

2. Kecepatan putar *propeller*

Kecepatan putar dari *propeller* akan memmpengaruhi dari diameter *propeller*. Semakin besar putaran *propeller* akan memberikan efek diameternya yang semakin kecil begitu juga sebaliknya. Yang perlu diperhatikan adalah semakin cepatnya putaran *propeller* bisa saja menurunkan efisiensinya, sebab grafik efisiensi mempunyai bentuk memuncak dan apabila putarannya dipercepat maka akan didapat efisiensinya berada pada posisi bawah. Maka dari itu perlu disesuaikan dengan diameternya.

3. Jumlah Blade *Propeller*

Jumlah blade mempunyai pengaruh dalam efisiensi *propeller*. *Propeller* dengan jumlah blade yang banyak akan menurunkan efisiensinya. Sedangkan untuk *propeller* dengan jumlah blade yang lebih sedikit maka lebih cenderung efisiensi nya lebih besar. Namun hal ini mempunyai risiko yaitu gaya dan juga tekanan yang diterima pada tiap blade akan lebih besar biola dibandingkan dengan jumlah blade yang banyak

4. *Pitch Propeller*

Pitch merupakan jarak translasi yang ditempuh *propeller* dalam satu kali putaran. Perubahan *pitch* ini dapat menyebabkan perubahan efisiensi dari gaya dorong. Sebab tiap-tiap *pitch* mempunyai pengaruh gaya dorong yang berbeda. *Pitch* ini dapat dilihat dari kemiringan dari daun *propeller*.

Untuk *propeller* CPP (*controllable pitch propeller*), *pitch* ini sering diubah-ubah tergantung pemakaian dengan caramemutar porisi daun *propeller*.

2.13 Karakteristik *Propeller* pada *Open Water Test*

Pada waktu dilakukan *Open water test*, maka akan dihasilkan grafik-grafik yang menjelaskan mengenai

Koefisien *Thrust* (KT), Koefisien *Torque* (KQ) , Koefisien *advanced* (J) dan juga efisiensi baling-baling (η_o). Dari koefisien tersebut maka akan digunakan dalam *engine propeller* ,atching. Namun dalam mengetahui performance cukup diketahui efisiensi saja. Sebab dari efisiensi sudah didapatkan mengenai koefisiensi *Torque*, *Thrust* dan koefisiensi *advance*. Berikut ini merupakan rumus dari Koefisien *Thrust* (KT), Koefisien *Torque* (KQ) , Koefisien *advanced* (J) dan juga efisiensi baling-baling (η_o). [4]

1. Koefisien *Thrust* (KT)

$$K_T = \frac{T_{Pr op}}{\rho \times n^2 \times D^4} \dots\dots\dots(2)$$

2. Koefisien *Torque* (KQ)

$$K_Q = \frac{Q_{Pr op}}{\rho \times n^2 \times D^5} \dots\dots\dots(3)$$

3. Koefisien *Advance Propeller* (J)

$$J = \frac{V_A}{n \times D} \dots\dots\dots(4)$$

4. Efisiensi *propeller* (η)

$$\eta_o = \frac{TV_a}{2\pi nQ} \dots\dots\dots(5)$$

5. Daya Putar Propeller

$$P = \tau \times \omega \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan

- KT : Koefisien gaya dorong (*Thrust*) baling-baling
 KQ : koefisien torsi baling-baling
 J : Koefisien *advanced* baling-baling
 VA : kecepatan *advanced* dari fluida yang melewati baling-baling
 Ho : efisiensi baling-baling pada kondisi *Open water*
 n : putaran baling-baling
 D : Diameter baling-baling
 T.prop : Gaya dorong baling-baling (*Thrust*)
 Q : Torsi baling-baling (*Torque*)

ρ	: Masa jenis fluida
P	: Daya Putar
τ	: Torsi
ω	: kecepatan sudut

2.13 Propeller B-Series

Propeller B-Series atau lebih dikenal dengan Wageningen merupakan propeller yang paling sering digunakan terutama pada kapal jenis *merchant ship*. Bentuk dari propeller B-Series kebanyakan sederhana. Propeller ini mempunyai *section* yang modern dan karakteristik kinerja yang baik. Pada umumnya, propeller B-Series mempunyai banyak variasi

P/D	0.5 sampai 1.4
Z	2 sampai 7
AE/A0	0.3 sampai 1.05

Di bawah ini adalah karakteristik dasar dari propeller B-Series

- Berdiameter 250 mm dan RH/R 0.167 (RH adalah jari-jari hub)
- Memiliki distribusi radial pitch yang konstan
- Sudut *rake* sampai 150 dengan distribusi *rake linier*
- Kontur blade yang cukup lebar
- Mempunyai segmental tip blade section dan aerofoil section pada jari-jari dala

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian adalah kerangka dasar dari tahapan penyelesaian tugas akhir. Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan skripsi ini. Metodologi tugas akhir ini dapat dilihat secara lengkap melalui gambar 3.1 . penjelasan untuk seluruh proses dapat dijelaskan sebagai berikut:

3.1 Identifikasi dan perumusan masalah

Pada proses ini akan dilakukan suatu identifikasi dan perumusan masalah yaitu tentang analisa perhitungan propeller dengan metode *computational fluid dynamics* (cfd) menggunakan pendekatan *single rotating reference frame*. Analisa perhitungan propeller tersebut dengan menggunakan *single rotating reference frame*, dimana variabel yang divariasikan adalah sudut *rake*, yang nantinya akan dihasilkan hubungan antara sudut *rake* dan *thrust* dan sudut *rake* yang optimum pada propeller tersebut.

3.2 Studi literatur

Tahapan selanjutnya adalah melakukan studi literatur dengan tujuan untuk merangkum teori-teori dasar, acuan secara umum dan khusus, serta untuk memperoleh berbagai informasi pendukung lainnya yang berhubungan dengan pengerjaan tugas akhir ini. Studi literatur ini dapat diperoleh dari buku, jurnal, paper atau dari internet yang mendukung bahasan dari tugas akhir ini. Selain itu bisa juga dengan melakukan tanya jawab

dengan pihak yang berkepentingan dan berkompeten pada bahasan ini.

3.3. Pembuatan model propeller

Pembuatan model propeller menggunakan software CFD. Model propeller yang dibuat mempunyai diameter 3 m dengan memvariasikan

3.4. Pengujian Model dan Pencatatan Data

Setelah pembuatan model yang akan diuji selesai langkah selanjutnya yaitu pengujian model dan pencatatan data, pengujian model dilakukan pada ANSYS CFD dengan memvariasikan Diameter Propeller.

3.5. Analisa Data dan Pembahasan

Setelah simulasi pada ANSYS CFD selesai selanjutnya adalah analisa data dan pembahasan yaitu membandingkan data yang sudah didapat dari pengujian model pada tiap – tiap variable serta menampilkan data tersebut dalam grafik.

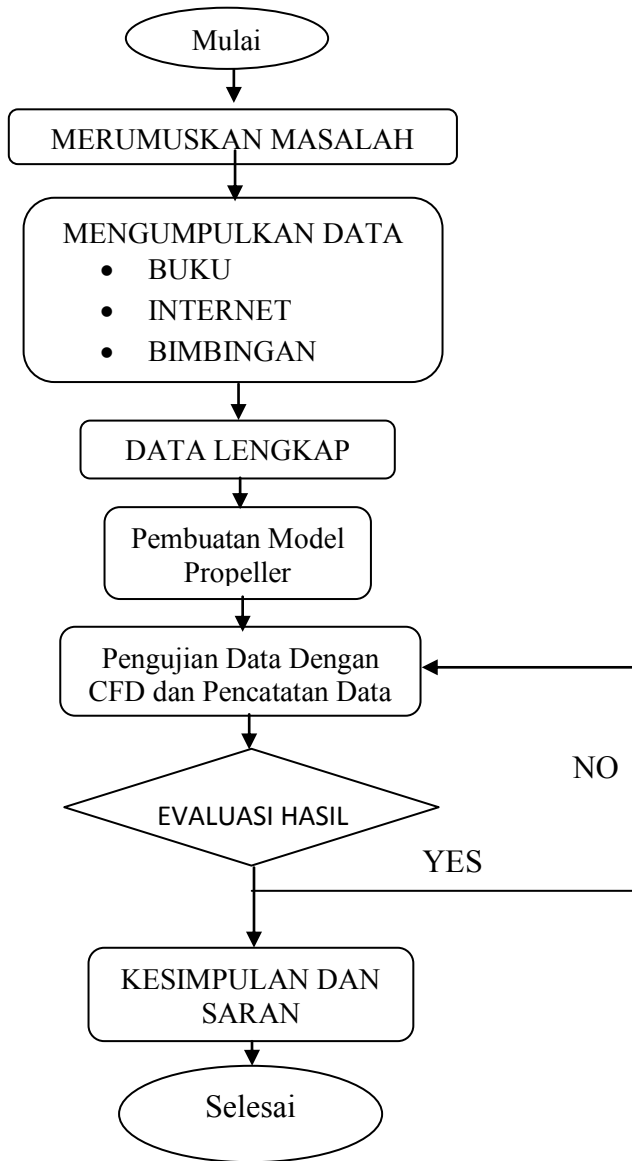
3.6 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisa data dan Pembahasan selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data yang sudah dilakukan dan memberikan saran-saran atau rekomendasi yang relevan sebagai pertimbangan di waktu yang akan datang.

3.7. Dokumentasi

Seluruh tahapan penelitian diatas didokumentasikan ke dalam bentuk penulisan laporan tugas akhir dan sekaligus merupakan tahap penyempurnaan akhir penelitian yang dilakukan.

Diagram alur pengerjaan tugas akhir berikut:



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penamaan Model

Dalam memberikan nama model propeller yang digambar, perlu diberikan semacam kode untuk mengidentifikasi properties dari Propeller yang digambar. Hal ini dilakukan karena pada Propeller yang digambar kali ini terdapat beberapa variasi. Variasi yang dimaksudkan adalah variasi Untuk kode yang digambarkan adalah sebagai berikut

B-X-YY

Keterangan :

B : kode untuk *propeller* B - Series
XX : Diameter *propeller*(dalam satuan inch)
YY : yaitu untuk variasi kode P/D dimana nilai dari P/D yang tertulis dibagi angka sepuluh

Contoh : **B –27 – 17**

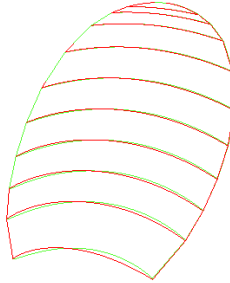
Maksud dari kode diatas berarti *propeller* B-Series memiliki diameter 27 inch serta P/D sebesar 1,7.

4.2 Penggambaran Model

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah penggambaran model propeller B-Series. Model *propeller* B-Series yang akan dibuat berdasarkan pada batasan masalah yang sudah ditentukan yaitu *Propeller* dengan diameter 2,7 m akan dimodifikasi menjadi 2,6 m, 2,65 m dan 2,55 m.

Penggambaran *propeller* dimulai dengan membuat cetakan dengan dibantu software CFD. Berikut ini merupakan penggambaran model dengan menggunakan software CFD.

Pertama yang dilakukan dalam proses penggambaran adalah menentukan koordinat dari masing-masing propeller tersebut yang didapat dari Propcad lalu di ekspor ke Rhinoceros dari model di rhinoceros di import ke ansys icem, selanjutnya dari koordinat tersebut dihubungkan dengan garis (line).



Gambar 4.1 Garis dari titik-titik koordinat propeller

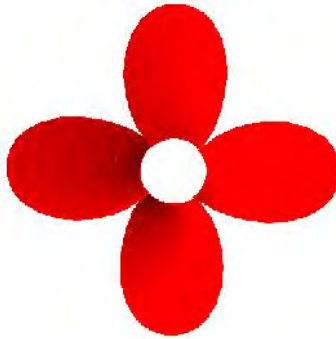
Koordinat - koordinat yang telah terhubung dengan garis tersebut selanjutnya diberi surface.



Gambar 4.2 Surface dari satu blade Propeller

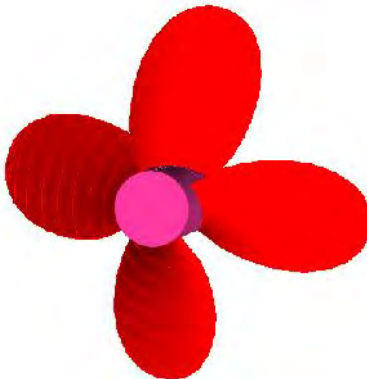
Akan tetapi penggambaran yang sudah dilakukan tadi hanya satu buah blade saja jadi untuk mendapatkan jumlah blade yang diinginkan perlu melakukan tool rotate terhadap sumbu x yang perpusat pada koordinat (0, 0, 0).

Misalnya untuk mendapatkan jumlah blade 3, maka harus diputar 90^0 .



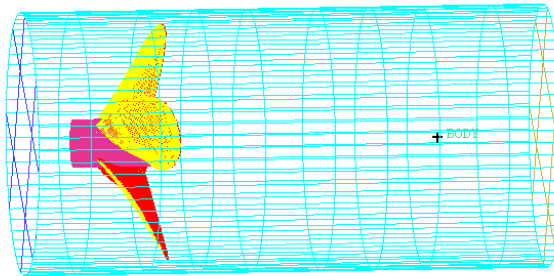
Gambar 4.3 Blade yang sudah di Rotate

Setelah semua gambar blade terpenuhi langkah selanjutnya yaitu membuat boss dari masing-masing propeller tersebut dengan diameter boss sebesar 0.2 dari diameter propeller yang telah dibuat. Berdasarkan data yang saya peroleh Pitch ratio yang digunakan untuk menggambar model ini adalah yaitu 0.62 yang sudut putarnya awal sebesar $24,6^0$ Di modifikasi menjadi sebesar $18,6^0$.



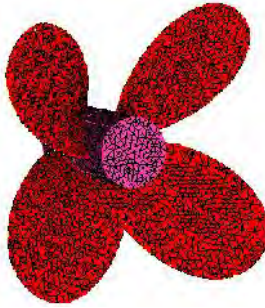
Gambar 4.411 Propeller 4 blade beserta boss

Setelah gambar propeller beserta bossnya selesai selanjutnya yaitu membuat domain yaitu domain berputar dan domain diam kemudian dilanjutkan dengan pemberian body yaitu *body rotating* dan *body wall*, *Body rotating* digunakan untuk domain yang berputar dimana didalamnya terdapat propeller sedangkan *body wall* digunakan untuk domain diam. Kemudian langkah selanjutnya adalah pemberian nama dari masing-masing bagian yang ingin diamati diantaranya adalah face, back, wall, inlet, outlet, boss.

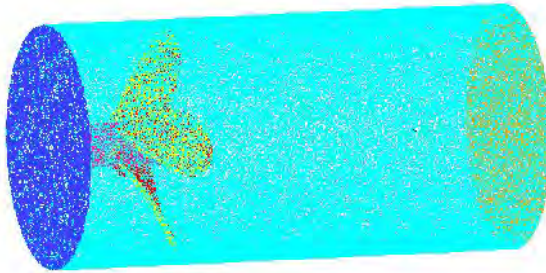


Gambar 4.5 Propeller yang sudah diberi domain

Langkah selanjutnya yaitu proses meshing, proses meshing dilakukan agar objek yang sudah dibuat dapat dianalisa pada masing-masing titik yang diinginkan atau dengan kata lain pada masing-masing titik mempunyai nilai yang berbeda-beda. Objek yang sudah dimeshing selanjutnya disimpan dalam format.cfx5 yang nantinya akan dibaca dalam solver CFX.

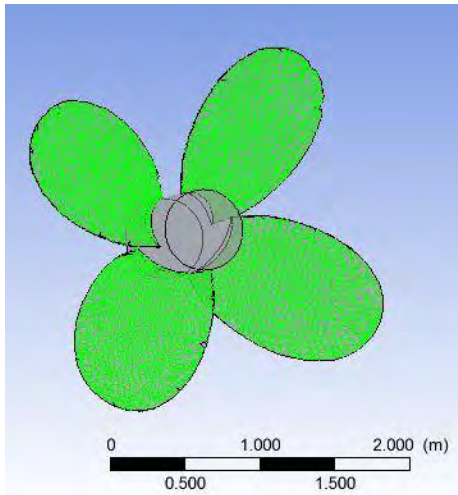


Gambar 4.6 Hasil meshing blade dan boss

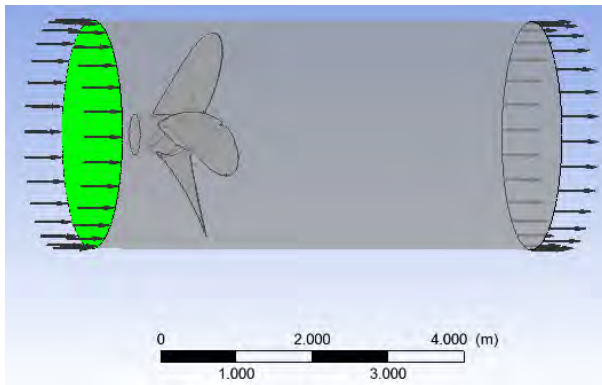


Gambar 4.7 Hasil meshing seluruh part

Tahap selanjutnya yaitu memasukkan inputan data dalam CFX sesuai dengan metode single reference frame dan batasan masalah yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu putaran propeller masing-masing di variasi J yaitu 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, dan 1.0.



Gambar 4.8 Tampilan propeller pada CFX



Gambar 4.9 Tampilan seluruh bagian pada CFX

Dalam memasukkan input data ke CFX ada beberapa part yang perlu dilakukan interface, interface 1

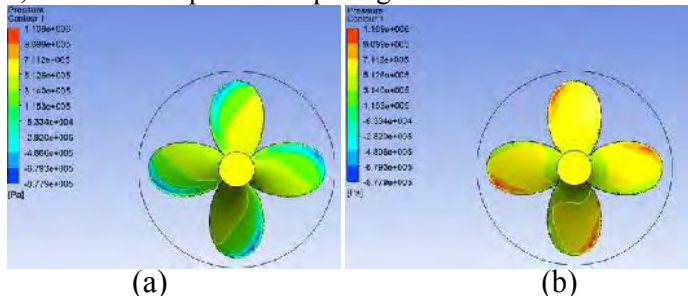
adalah inlet rotating 1 (pada domain 1). Interface 2 adalah wall rotating 1 (pada domain 1). Hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah jumlah iterasi yang diinginkan, kemudian baru melakukan running dengan jenis keluaran proses ini adalah file result atau disingkat “res”. Dari sini kemudian melangkah ke proses selanjutnya yaitu proses solver. Dengan menggunakan inputan file definition dari tahap pre, proses running solver dijalankan untuk membaca persamaan-persamaan dari simulasi yang telah dilakukan, sehingga output parameter yang akan dicari dapat ditampilkan.

Dari hasil running yang sudah dilakukan di CFX dapat dibaca pada CFX-Post dengan file ekstensi *.cst. langkah terakhir dari rangkaian proses simulasi adalah proses post. Proses post adalah tahapan yang mana file result dari solver divisualisasikan melalui gambar dan animasi berupa tampilan dan sebagainya. Data yang dibutuhkan akan didapatkan baik secara visual maupun nominal.

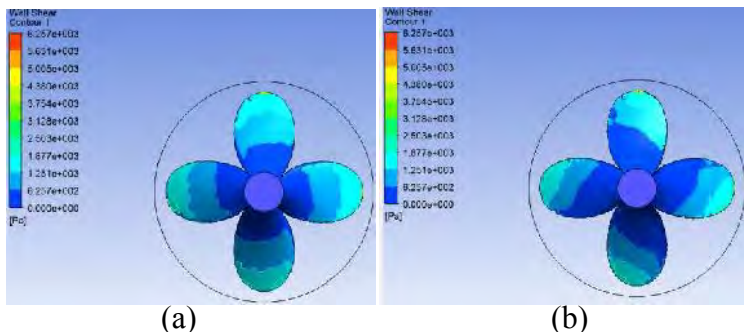
4.2 Model Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi model akan didapatkan beberapa data yang dibutuhkan untuk analisa yaitu luas area (m^2), tekanan (Pa), dan tegangan geser (Pa) baik pada *face* maupun pada *back*. Dari

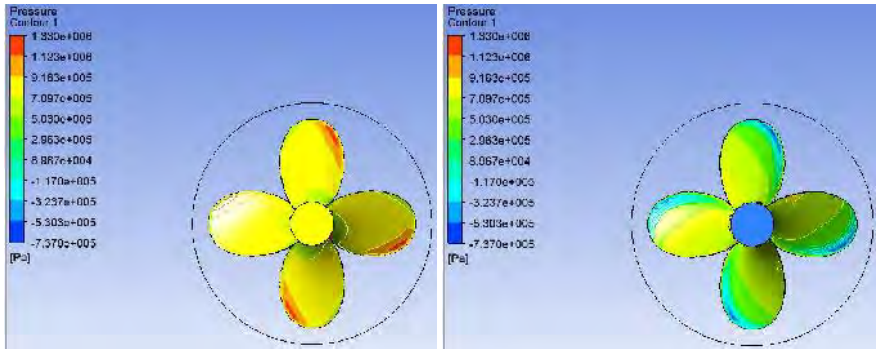
4 model yang ada dan setelah dirunning dengan masing-masing sebanyak 5 variasi maka akan didapatkan data sebanyak 20 kali. Data-data tersebut akan digunakan untuk analisa lebih lanjut mengenai distribusi aliran fluida pada masing-masing Daun propeller yang nantinya akan berpengaruh terhadap *thrust*, *effisiensi* dan *torque* dari *propeller*. Hasil simulasi berupa kontur tekanan dan juga tegangan geser pada masing - masing *blade* tiap *propeller* dengan variasi J yaitu ; 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, dan 1.0. dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



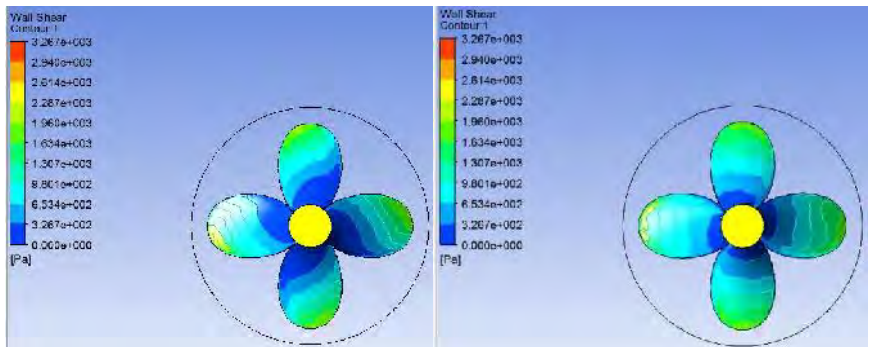
Gambar 4.10 12 Kontur tekanan *face(a)* dan *back(b)* pada diameter 2,7 m



Gambar 4.11 Kontur tegangan geser *back(a)* dan *face(b)* pada $D = 2.7$ m



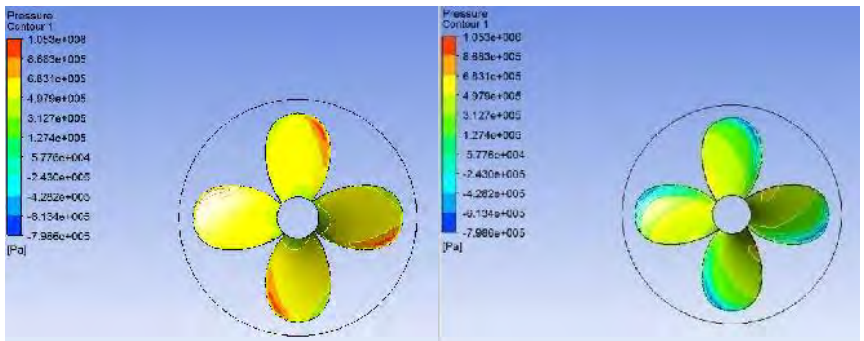
Gambar 4.12 Kontur tekanan *face* (a) dan *back* (b) pada diameter 2,6 m



(a)

(b)

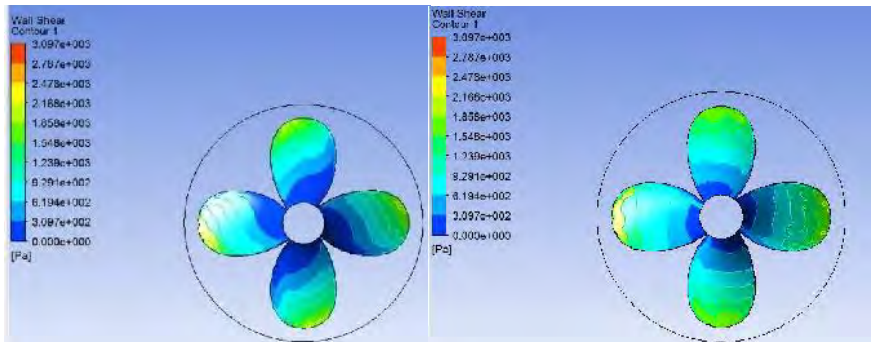
Gambar 4.13 Kontur tegangan geser *face* (a) dan *Back* (b) pada diameter 2,6 m



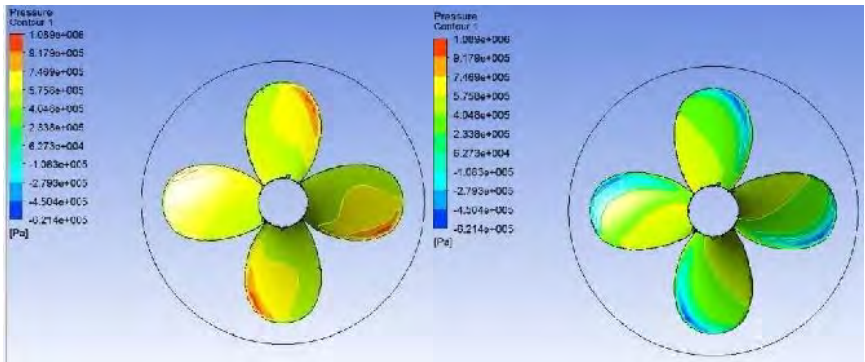
(a)

(b)

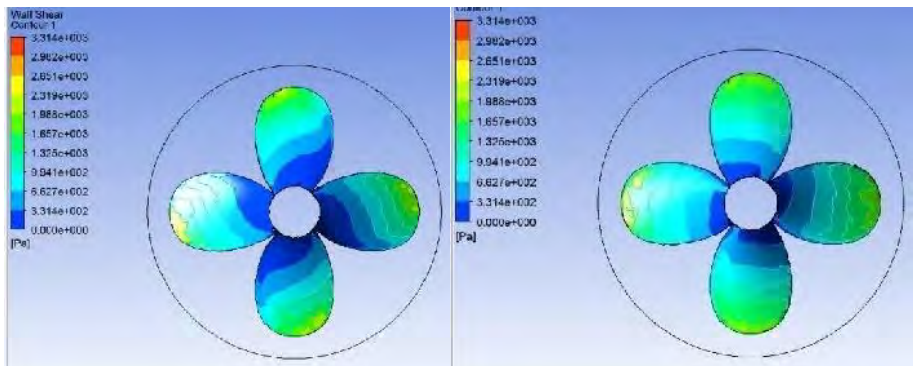
Gambar 4.14 Kontur tekanan *face* (a) dan *back* (b) pada diameter 2,65 m



Gambar 4.15 Kontur tegangan geser *face* (a) dan *back* (b) pada diameter 2,65 m



Gambar 4.16 Kontur tekanan *face* (a) dan *back* (b) pada diameter 2,55 m



Gambar 4.17 Kontur tegangan geser *face* (a) dan *back* (b) pada diameter 2,55 m

4.3 Data Hasil Simulasi

Pada tahap ini, data yang diperoleh dari proses simulasi yaitu *pressure, torque, wall shear* dan *area* diambil untuk menentukan proses validasi dan variasi dari percobaan yang dilakukan. Maka di dapatkan variasi table seperti table 4.1

Tabel 4.1 Variasi hasil pengujian

Variasi J	Rps	Propeller	Torque (N.m)		Pressure (Pa)		Area		Wall Shear (Pa)	
			Face	Back	Face	Back	Face	Back	Face	Back
0.2	5.56	P-2.7	184225	-200510	174041	141856	3.785	3.947	126.419	175.452
0.4	2.78	P-2.7	191578	-213743	150928	134182	3.785	3.947	108.838	143.145
0.6	1.85	P-2.7	214423	-232474	130048	128171	3.785	3.947	85.802	110.851
0.8	1.39	P-2.7	234974	-248286	126222	115553	3.785	3.947	67.154	80.066
1	1.11	P-2.7	257649	-266248	115428	109672	3.785	3.947	58.658	68.341

Variasi J	Rps	Propeller	Torque (N.m)		Pressure (Pa)		Area		Wall Shear (Pa)	
			Face	Back	Face	Back	Face	Back	Face	Back
0.2	5.77	P-2.6	169944	-162510	204312	208941	3.39631	3.5234	372.721	290.509
0.4	2.88	P-2.6	173731	-173748	182113	167584	3.39631	3.5234	204.51	277.56
0.6	1.92	P-2.6	182136	-183743	168514	147046	3.39631	3.5234	104.07	123.49
0.8	1.44	P-2.6	191652	-191403	140497	130341	3.39631	3.5234	64.90	76.73
1	1.15	P-2.6	201101	-201667	123863	118368	3.39631	3.5234	45.77	53.00

Variasi J	Rps	Propeller	Torque (N.m)		Pressure (Pa)		Area		Wall Shear (Pa)	
			Face	Back	Face	Back	Face	Back	Face	Back
0.2	5.66	P-2.65	183944	-168270	555603	293196	3.48621	3.68018	695.694	830.172
0.4	2.83	P-2.65	192844	-182842	218334	161657	3.48621	3.68018	204.298	246.679
0.6	1.89	P-2.65	205723	-195426	148895	127296	3.48621	3.68018	102.788	123.493
0.8	1.42	P-2.65	215302	-202533	125803	115287	3.48621	3.68018	65.262	77.197
1	1.13	P-2.65	220511	-219263	115624	109755	3.48621	3.68018	45.824	53.274

Variasi J	Rps	Propeller	Torque (N.m)		Pressure (Pa)		Area		Wall Shear (Pa)	
			Face	Back	Face	Back	Face	Back	Face	Back
0.2	5.88	P-2.55	133477	-122779	566799	320474	3.24238	3.41925	731.728	878.520
0.4	2.94	P-2.55	145331	-131048	257622	205558	3.24238	3.41925	214.098	257.785
0.6	1.96	P-2.55	157932	-140103	173499	153881	3.24238	3.41925	107.998	128.703
0.8	1.47	P-2.55	168426	-152394	138603	129119	3.24238	3.41925	67.772	79.395
1	1.18	P-2.55	177267	-166045	122963	117850	3.24238	3.41925	47.841	54.870

4.4 Perhitungan Data

Berdasarkan tujuan yang telah ditentukan dalam pengerjaan tugas akhir ini, yakni performance dari *propeller* B-Series Sesudah dan sebelum dilakukan modifikasi, maka berikut ini adalah perhitungan untuk mendapatkannya berdasarkan hasil data simulasi model yang telah dibuat.

1. Menentukan Nilai *Force Lift*

Untuk mencari nilai *Force lift* atau gaya angkat, maka dapat dicari dengan rumus

$$F = P \times A$$

Dimana, $F = \text{Force Lift (N)}$

$P = \text{Pressure (N/m}^2\text{)}$

$A = \text{Area (m}^2\text{)}$

Dengan menggunakan rumus diatas maka dapat dicari *Force lift* yang terdapat pada *area back* dan juga *face* seperti pada tabel 4.1

- Pada sisi *face*

$$\begin{aligned} F &= P_{face} \times A \\ &= 174041 \times 3.785 \\ &= 658745.2 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pada sisi *Back*

$$\begin{aligned} F &= P_{back} \times A \\ &= 141856 \times 3.947 \\ &= 559905.6 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka dari hasil *face* dan *back* kedua resultan gaya tersebut dijumlahkan sehingga

$$\begin{aligned} F_{\text{lift}} &= F_{back} + F_{face} \\ &= 559905.6 + 658745.2 \\ &= 1218650.82 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Menentukan Nilai *Force drag*

Untuk *Force drag* dapat dicari dengan rumus berikut:

$$F = \tau \times A$$

Dimana, $F = \text{Force Drag (N)}$

$\tau = \text{Wall Shear (N/m}^2\text{)}$

$$A = Area \text{ (m}^2\text{)}$$

Untuk nilai dari *wall shear* nilai nya diambil dari hasil simulasi menggunakan *simulation calculator*. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1. Sehingga nilai *force drag* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

Pada sisi *face*

- $F_{face} = \tau_{face} \times A$
 $= 126.419 \times 3.785$
 $= 478.50 \text{ N}$

- Pada sisi *back*

$$F_{back} = \tau_{back} \times A$$

$$= 175.452 \times 3.947$$

$$= 692.51 \text{ N}$$

Maka didapatkan resultan *Force lift* sebagai berikut :

$$F_{drag} = F_{face} + F_{back}$$

$$= 478.50 + 692.51$$

$$= 1171 \text{ N}$$

3. Menentukan Nilai *Thrust* (gaya dorong)

Pada contoh perhitungan ini menggunakan variasi *pitch* dengan nilai 0.604, 0.605, 0.6045 dan 0.6055 Untuk mencari nya diperlukan adanya nilai *pitch*

$$\theta = \tan^{-1} \frac{P}{2\pi r}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{P/D}{0.7\pi}$$

(θ dihitung pada 0.604 r/R)

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0.604}{0.604\pi}$$

$$\theta = 0.268$$

Sehingga : $\sin \theta = 0.264$ dan $\cos \theta = 0.964$.

Berikut adalah perhitungan mencari nilai *Thrust* (T) :

$$\begin{aligned} T &= F_{\text{lift}} \sin \theta - F_{\text{drag}} \cos \theta \\ &= (1218650.82 \times 0.264) - (1171 \times 0.964) \\ &= 321780 \text{ N} \\ &= 321.780 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Menentukan Nilai *Torque*

Untuk *Torque* nilainya diambil dari hasil simulasi model pada CFX-post menggunakan function calculator. Data tersebut seperti tertulis pada Tabel 4.1 tertulis nilai *Torque* pada *face* dan *back*, sehingga perhitungannya adalah mendapatkan resultan keduanya:

$$\begin{aligned} Q_{\text{resultan}} &= Q_{\text{face}} - Q_{\text{back}} \\ &= 184225 + (-200510) \\ &= 384735 \text{ Nm} \\ &= 384.7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

5. Menentukan Nilai KT

Untuk mendapatkan nilai dari KT maka rumus dapat dilihat pada persamaan (2). Sehingga nilai dari KT sendiri dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$\begin{aligned} K_t &= \frac{T_{\text{Pr op}}}{\rho \times n^2 \times D^4} \\ &= \frac{321.780 \times 1000}{1000 \times (5.56)^2 \times (2.7)^4} \\ &= 0,19 \end{aligned}$$

6. Menentukan Nilai KQ

Untuk mendapatkan nilai dari KQ maka rumus dapat dilihat pada persamaan (3). Sehingga nilai dari KQ sendiri dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$K_Q = \frac{Q_{\text{Pr op}}}{\rho \times n^2 \times D^5}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{384.7 \times 1000}{1000 \times (5.56)^2 \times (2.7)^5} \\
 &= 0,008 \\
 10 K_Q &= 0.08
 \end{aligned}$$

7. Menentukan Nilai Efficiency

menentukan efisiensi model yang telah disimulasikan. Berdasarkan persamaan (5) pada Bab II, maka didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{J \times KT}{2 \times \pi \times KQ}$$

Nilai dari n ditentukan dengan mengubah dari nilai J . Nilai J yang semakin besar maka akan semakin kecil putarannya. Untuk mengetahui rumus dari putaran dapat dilihat pada persamaan (1). Nilai J divariasikan mulai dari 0,2 sampai dengan 1. Berikut ini merupakan contoh perhitungan dari nilai putaran (n) : Sehingga nilai dari efisiensi adalah

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{J \times KT}{2 \times \pi \times KQ} \\
 &= \frac{0,2 \times 0,2}{2\pi \times 3,14 \times 0,08} \\
 &= 0,072
 \end{aligned}$$

8. Langkah terakhir dalam perhitungan ini adalah menghitung daya putar propeller. Berdasarkan persamaan (6) pada Bab II, maka didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \tau \times \omega \\
 &= 384.7 \times \omega \quad (IRPM = 0.1047 \omega) \\
 &= 384.7 \times (0.1047 \times RPM) \\
 &= 384.7 \times (0.1047 \times 333.3) \\
 &= 2173.2 \text{ KW}
 \end{aligned}$$

4.5 Data Perhitungan Hasil Simulasi

Pada tahap ini, diperoleh data dari hasil Perhitungan yang dilakukan berdasarkan hasil simulasi dan dapat di lihat pada tabel – tabel berikut:

• Diameter 2700 mm

Tabel 4.2 Data hasil simulasi pada propeller dengan diameter 2700 mm

$F_{lift} (N)$		$F_{drag} (N)$		$\Sigma F_{lift} (N)$	$\Sigma F_{drag} (N)$
Face	Back	Face	Back		
658745.2	559905.6	478.50	692.51	1218650.82	1171.00
571262.5	529616.4	411.95	564.99	1100878.83	976.95
492231.7	505890.9	324.76	437.53	998122.62	762.29
477750.3	456087.7	254.18	316.02	933837.96	570.20
436895.0	432875.4	222.02	269.74	869770.36	491.76

Thrust (kN)	Σ Torque (kN.m)	Va (m/s)	Effisiensi	Kt	10Kq	Daya Kw	rpm
321.780	384.735	3	0.072	0.19	0.08	2137.42	333.3
290.761	405.321	3	0.123	0.69	0.36	1125.89	166.7
263.740	446.897	3	0.252	1.41	0.89	827.59	111.1
246.892	483.260	3	0.351	2.35	1.70	671.19	83.3
229.991	523.897	3	0.421	3.42	2.89	582.11	66.7

• Diameter 2650 mm

Tabel 4.3 Data hasil simulasi pada propeller dengan diameter 2650 mm

$F_{lift} (N)$		$F_{drag} (N)$		$\Sigma F_{lift} (N)$	$\Sigma F_{drag} (N)$
Face	Back	Face	Back		
1936948.7	1079014.055	2425.34	3055.18	3015962.79	5480.52
761158.17	594926.8583	712.23	907.82	1356085.032	1620.05
519079.24	468472.1933	358.34	454.48	987551.4312	812.82
438575.68	424276.9117	227.52	284.10	862852.5883	511.61
403089.55	403918.1559	159.75	196.06	807007.7009	355.81

Thrust (kN)	Σ Torque (kN.m)	Va (m/s)	Effisiensi	Kt	10Kq	Daya(Kw)	Rpm
794.479272	352.214	3	0.09	0.46	0.075	1993.66	339.6
358.0403396	375.686	3	0.16	0.82	0.319	1063.26	169.8
261.0920839	401.149	3	0.17	1.35	0.766	756.88	113.2
228.3152535	417.835	3	0.29	2.09	1.419	591.28	84.91
213.6567106	439.774	3	0.41	3.06	2.333	497.86	67.92

• Diameter 2600 mm

Tabel 4.4 Data hasil simulasi pada propeller dengan diameter 2600 mm

F_{lift} (N)		F_{drag} (N)		ΣF_{lift} (N)	ΣF_{drag} (N)
Face	Back	Face	Back		
693906.89	736182.7194	1265.88	1023.58	1430089.6	2289.46
618512.2	590465.4656	694.58	977.94	1208977.7	1672.52
572325.78	518101.8764	353.46	435.12	1090427.7	788.58
477171.37	459243.4794	220.41	270.34	936414.8	490.76
420677.15	417057.8112	155.45	186.75	837735.0	342.20

Thrust (kN)	Σ Torque (kN.m)	Va (m/s)	Effisiensi	Kt	10Kq	Daya(Kw)	Rpm
377.311	332.454	3	0.098	0.21	0.07	1918.004	346.2
319.227	347.479	3	0.158	0.70	0.28	1002.343	173.1
288.618	365.879	3	0.303	1.43	0.67	703.6135	115.4
248.033	383.055	3	0.423	2.19	1.25	552.4832	86.54
221.989	402.768	3	0.537	3.06	2.06	464.7323	69.23

• Diameter 2550 mm

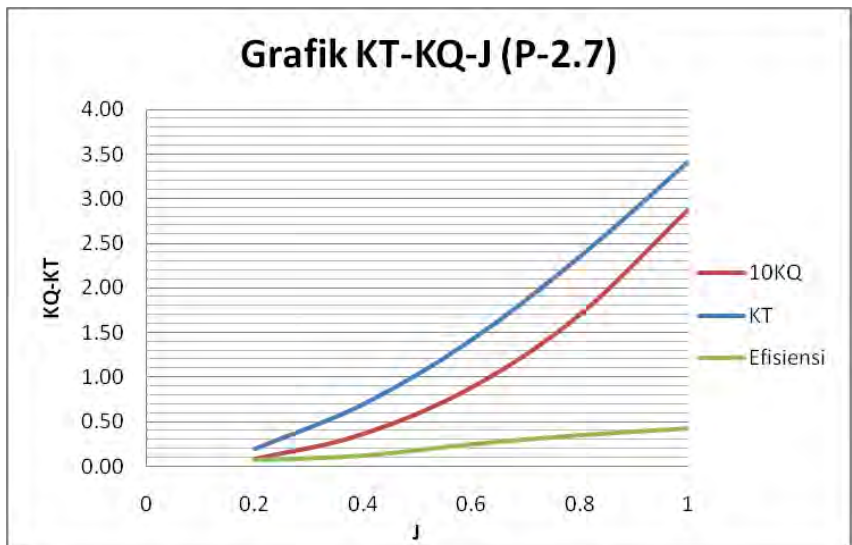
Tabel 4.5 Data hasil simulasi pada propeller dengan diameter 2550 mm

F_{lift} (N)		F_{drag} (N)		ΣF_{lift} (N)	ΣF_{drag} (N)
Face	Back	Face	Back		
1837777.7	1095780.725	2372.54	3003.88	2933558.466	5376.42
835308.42	702854.1915	694.19	881.43	1538162.612	1575.62
562549.69	526157.6093	350.17	440.07	1088707.297	790.24
449403.6	441490.1408	219.74	271.47	890893.7359	491.21
398692.77	402958.6125	155.12	187.61	801651.3844	342.73

Thrust (kN)	Σ Torque (kN.m)	Va (m/s)	Effisiensi	Kt	10Kq	Daya(Kw)	Rpm
772.7279222	256.256	3	0.04	0.53	0.069	1507.39	352.9
406.3659428	276.379	3	0.12	1.11	0.296	812.88	176.5
287.9380506	298.035	3	0.19	1.77	0.719	584.38	117.6
235.7707895	320.82	3	0.24	2.58	1.376	471.79	88.24
212.2489439	343.312	3	0.25	3.63	2.301	403.90	70.59

4.6. Pembahasan

4.6.1 Nilai KT, KQ dan Efisiensi pada P-2.7 (Sebelum Modifikasi)

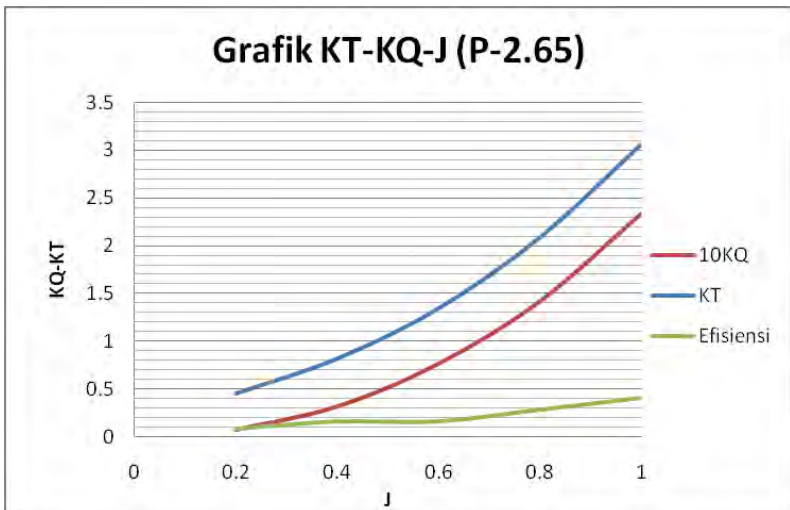


Gambar 4.18 Grafik nilai KT,KQ dan J pada model P-2,7

Pada 4 model yang telah digambar, hasil dari *Thrust*, torsi dan juga efisiensi sangat dipengaruhi oleh diameter dan juga kecepatan putar Putar pada Propeller. Pada model (P-2,7), efisiensi Propeller terbesar yang dihasilkan adalah 0,421. Sementara itu nilai dari KT dan 10KQ juga

mengikuti sebagai nilai terbesar yaitu dengan nilai 3.42 dan 2.89. Nilai efisiensi, KT dan 10KQ ini didapat pada variasi J dengan nilai 1.

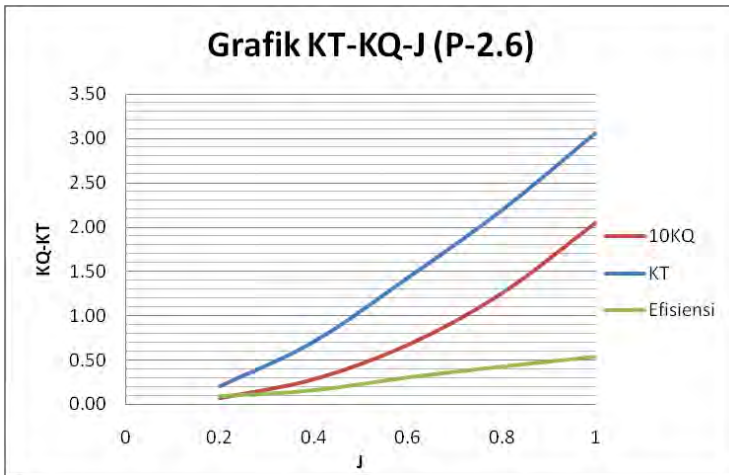
4.6.2 Nilai KT, KQ dan Efisiensi pada P-2.65 (Modifikasi 1)



Gambar 4.19 Grafik nilai KT,KQ dan J pada model P-2.65

Pada model (P-2,65), efisiensi terbesar yang dihasilkan pada model propeller ini adalah 0,41. Sementara itu nilai dari KT dan 10KQ juga mengikuti sebagai nilai terbesar yaitu dengan nilai 3.06 dan 2,33. Nilai efisiensi KT dan 10 KQ ini pada variasi J dengan nilai 1.

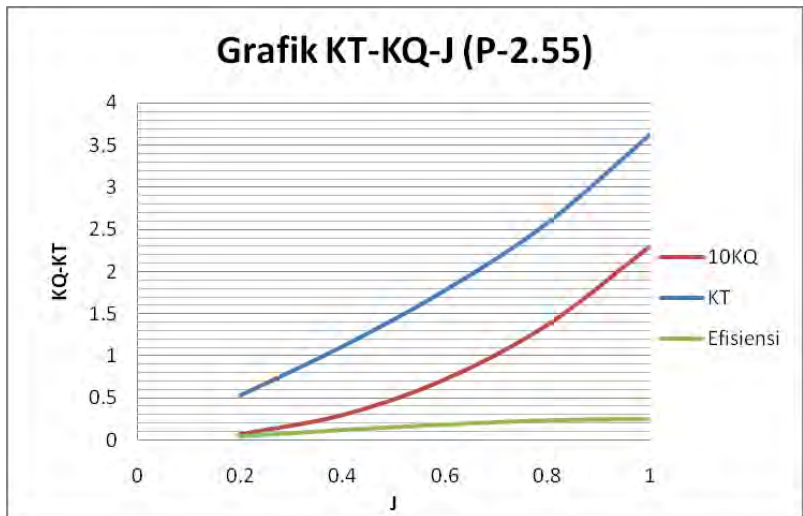
4.6.3 Nilai KT, KQ dan Efisiensi pada P-2.6 (Modifikasi 2)



Gambar 4.20 Grafik nilai KT,KQ dan J pada model P-2.6

Pada model (P-2,6),efisiensi terbesar yang dihasilkan adalah 0,537. Sementara itu nilai dari KT dan 10KQ juga mengikuti sebagai nilai terbesar yaitu dengan nilai 3.06 dan 2.06. Nilai efisiensi, KT dan 10KQ ini didapat pada variasi J dengan nilai 1.

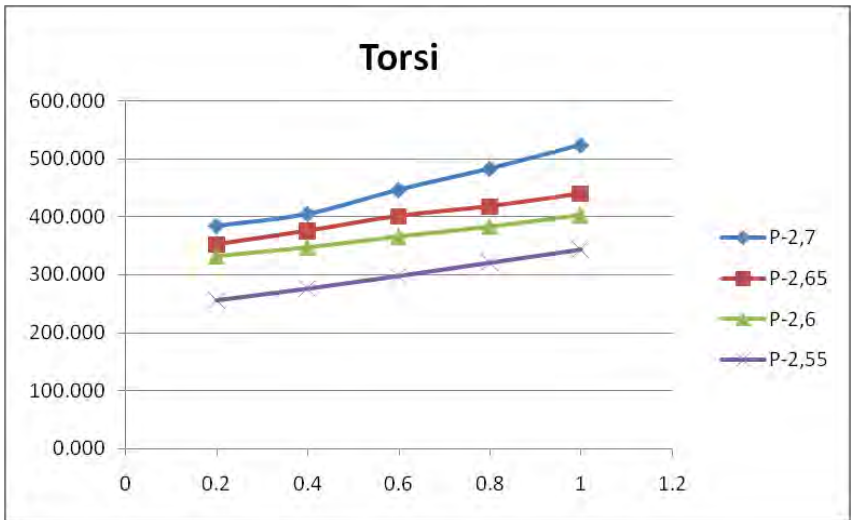
4.6.4 Nilai KT, KQ dan Efisiensi Pada P-2.55 (Modifikasi 3)



Gambar 4.21 Grafik nilai KT,KQ dan J pada model P-2.55

Pada model (P-2,6),efisiensi terbesar yang dihasilkan adalah 0,537. Sementara itu nilai dari KT dan 10KQ juga mengikuti sebagai nilai terbesar yaitu dengan nilai 3.06 dan 2.06. Nilai efisiensi, KT dan 10KQ ini didapat pada variasi J dengan nilai 1.

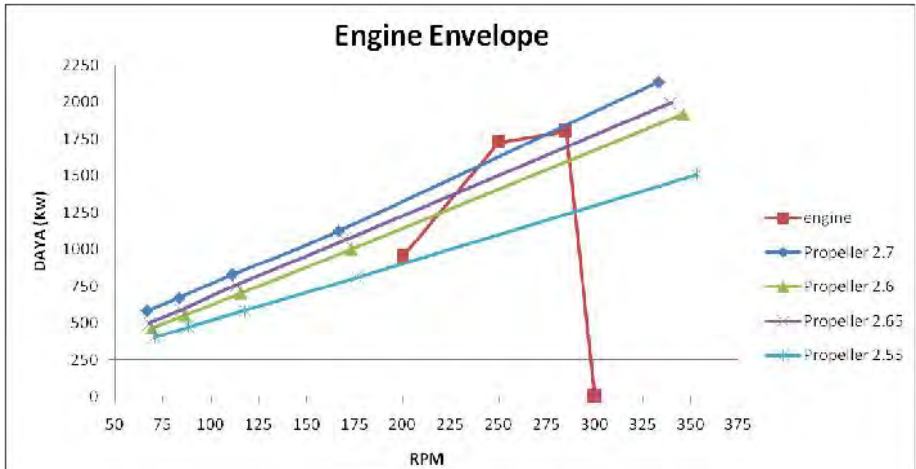
4.6.5 Nilai Torsi Pada Propeller



Gambar 4.22 Nilai Torsi Pada Propeller

Sesuai dengan nilai Torsi propeller sebelum dan sudah dilakukan modifikasi pada daun propeller di tunjukan pada tabel 4.2 sampai dengan 4.5 ,maka dapat diketahui bahwa nilai torsi propeller akan mengalami penurunan berbanding dengan dengan variasi nilai J. Nilai torsi sebelum di lakukan modifikasi dengan diameter 2,7 m Torsi nya paling besar yaitu 523.897 knM, Propeller Modifikasi 2 dengan diameter 2,65 m Torsi nya paling besar yaitu 439.774 knM , Propeller Modifikasi 3 dengan diameter 2,6 m torsi nya paling besar yaitu 402.768 knM dan Propeller Modifikasi 4 dengan diameter 2,55 m daya paling besar yaitu 343.312 knM.

4.6.6 Daya Propeller Dengan Engine Envelope



Gambar 4.23 Daya Propeller Dengan Engine Envelope

Sesuai dengan nilai daya propeller sebelum dan sudah dilakukan modifikasi pada daun propeller di tunjukan pada tabel 4.2 sampai dengan 4.5 ,maka dapat diketahui bahwa nilai daya propeller akan berbanding lurus dengan nilai putaran (RPM). Atau dapat dikatakan semakin besar nilai putaran maka Daya akan semakin besar, Putaran Daya Propeller sebelum di lakukan modifikasi dengan diameter 2,7 m daya nya paling besar yaitu 2137,42 Kw, Propeller Modifikasi 2 dengan diameter 2,65 m daya nya paling besar yaitu 1993,66 Kw , Propeller Modifikasi 3 dengan diameter 2,6 m daya nya paling besar yaitu 1918 Kw dan Propeller Modifikasi 4 dengan diameter 2,55 m daya paling besar yaitu 1507,39 Kw.

Dari gambar 4.22 menunjukan bahwa daya propeller bila di *matching* kan dengan engine envelope (diagram *engine*), Meunjukkan bahwa Pada Propeller diameter 2.7 m

atau sebelum dilakukan modifikasi tidak mempunyai *sea margin*, Propeller diameter 2,65 m (modifikasi 1) mempunyai *sea margin* 5% , Propeller dengan diameter 2,6 m (modifikasi 2) mempunyai *sea margin* 15% dan Propeller diameter 2,55 (modifikasi 3) mempunyai *Sea margin* 35 %.

4.7 Data Akhir Hasil Pengujian

Pada tahap ini, diperoleh data Akhir hasil Perhitungan yang dilakukan berdasarkan hasil simulasi dan dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Data Akhir hasil pengujian 4 model propeller

Data Akhir Hasil Pengujian											
Propeller Asli			Modifikasi 1			Modifikasi 2			Modifikasi 3		
Rps	η	Daya(Kw)	Rps	η	Daya(Kw)	Rps	η	Daya(Kw)	Rps	η	Daya(Kw)
5.56	0.072	2137.4	5.66	0.09	1993.7	5.77	0.098	1918.0	5.88	0.04	1507.4
2.78	0.123	1125.9	2.83	0.16	1063.3	2.88	0.158	1002.3	2.94	0.12	812.9
1.85	0.252	827.6	1.89	0.17	756.9	1.92	0.303	703.6	1.96	0.19	584.4
1.39	0.351	671.2	1.42	0.29	591.3	1.44	0.423	552.5	1.47	0.24	471.8
1.11	0.421	582.1	1.13	0.41	497.9	1.15	0.537	464.7	1.18	0.25	403.9

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN dan SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan efisiensi yang terbesar, nilai dari efisiensi propeller yang terbesar dihasilkan pada model P-2,6 dengan nilai sebesar 0,537 dengan variasi J bernilai 1
2. Berdasarkan Performa Propeller setelah dilakukan modifikasi daya propeller yang memenuhi engine envelope adalah propeller model P-26 dengan *Sea margin* 15%.
3. Dengan dilakukannya Pengurangan diameter dan juga Perubahan sudut propeller maka daya propeller mengalami penurunan sehingga dapat memenuhi kebutuhan *engine* yang kelebihan beban dari propeller.

5.2 Saran

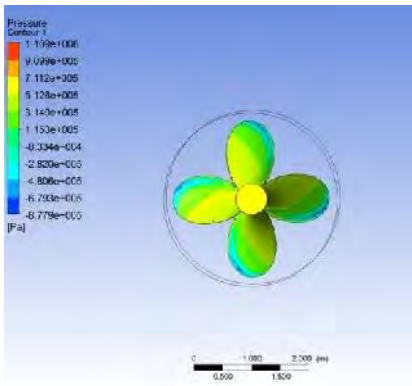
1. Untuk hasil yang lebih baik, diperlukan lebih banyak *running* model yang harus disimulasikan.
2. Jumlah Meshing di perbesar sehingga lebih akurat dan halus hasil modelingnya.
3. Memperbanyak referensi untuk penentuan variasi yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

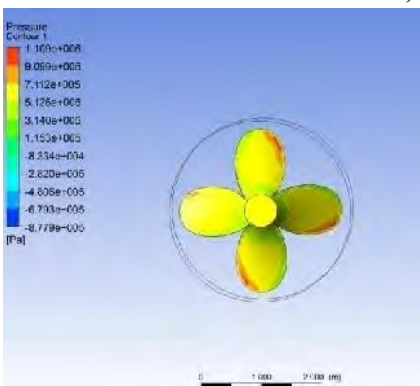
- [1] Kerwin, J. E. (2012). *MARINE PROPELLERS*. Massachusetts 02139: Department of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge,
- [2] (2006). Retrieved Maret 21, 2011, from Sejarah Propeller (BalingbalingKapal: www.maritimeworld.web.id/2011/04/sejarah-propeller-baling-baling-kapal.html)
- [3] Group, C. (2015). *BBLade Professional Propeller*. Retrieved 03 12, 2015, from [http://bblades.com/props-101/The right Prop Pitch](http://bblades.com/props-101/The-right-Prop-Pitch)
- [4] Widjojo, S. A. (2005). *Engine-Propeller Matching. Engine-Propeller Matching*, ;Surabaya.
- [5] May, G. K. (1992). *The Wageningen Propeller Series*, . Netherlands: Marin Publication.
- [6] Carlton, J. S. (2012). *6] Marine Propellers and Propulsion Second Edition*. United Kingdom: Great Britain by MPG Books Ltd

LAMPIRAN

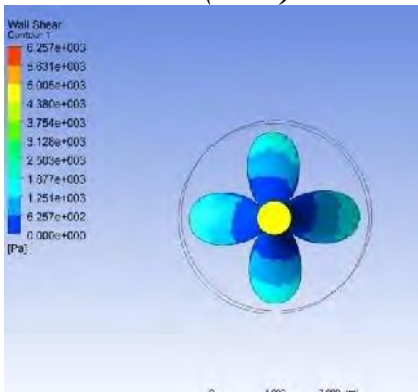
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2700 mm PADA $J = 0,2$



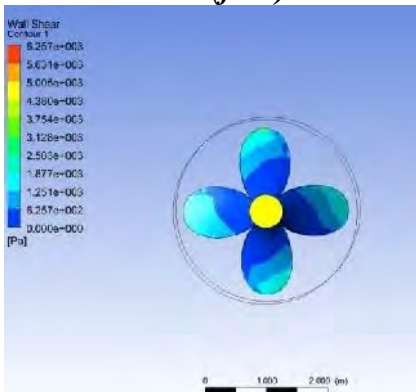
(Back)



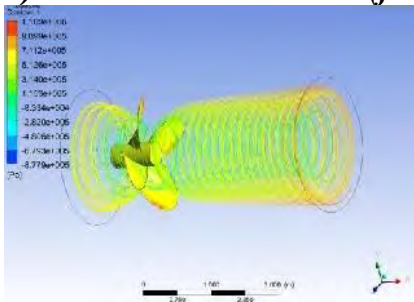
(face)



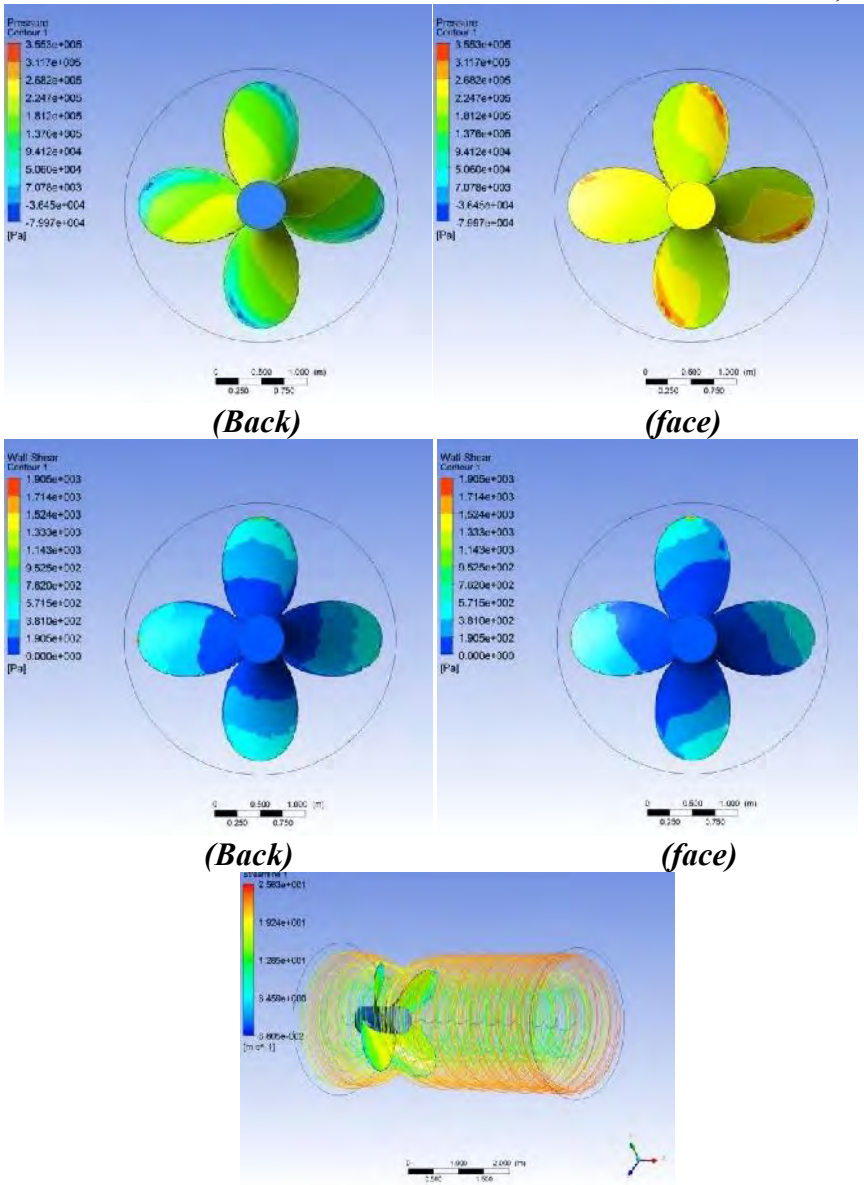
(Back)



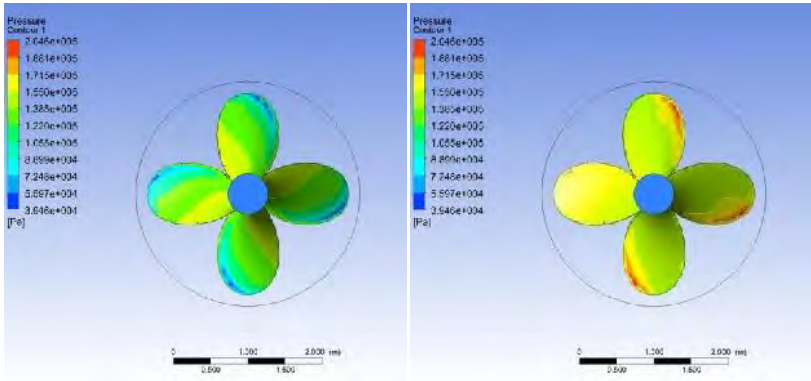
(face)



GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2700 mm PADA $J = 0,4$

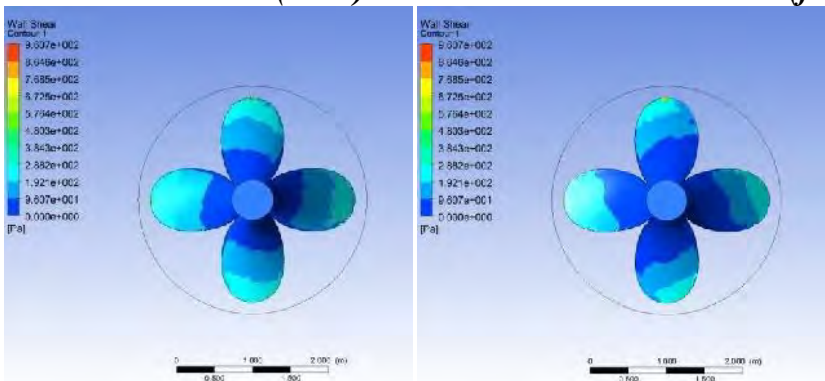


GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2700 mm PADA $J = 0,6$



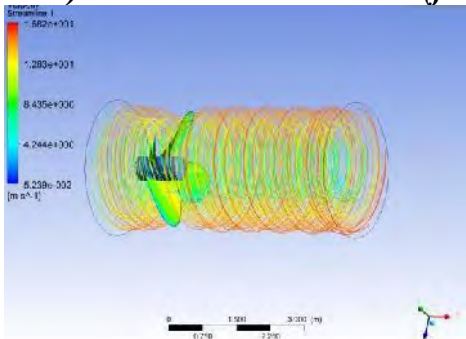
(Back)

(face)

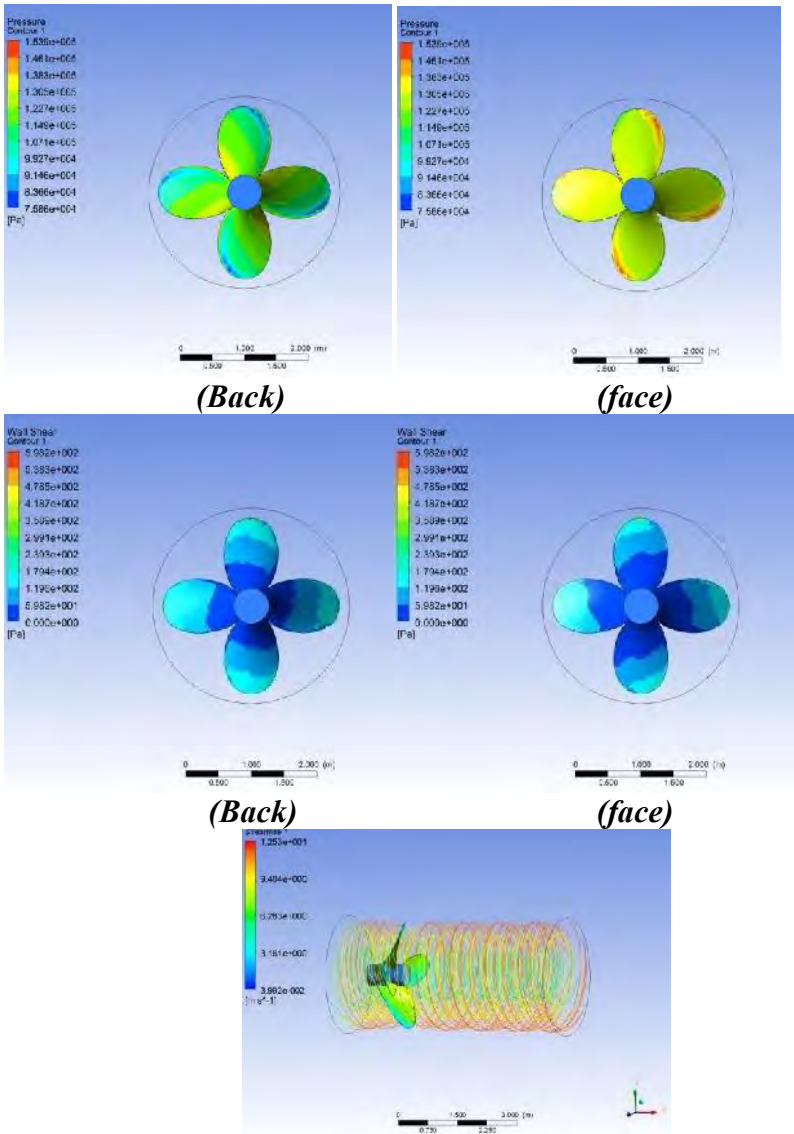


(Back)

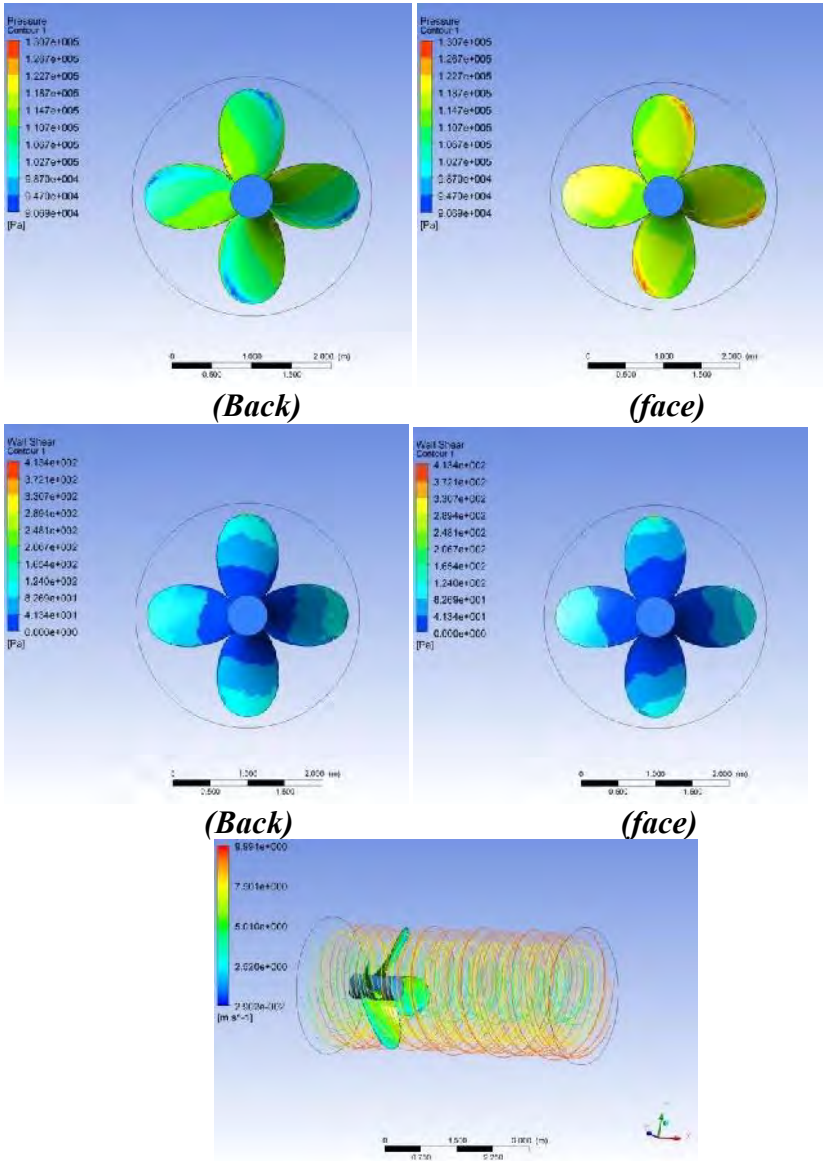
(face)



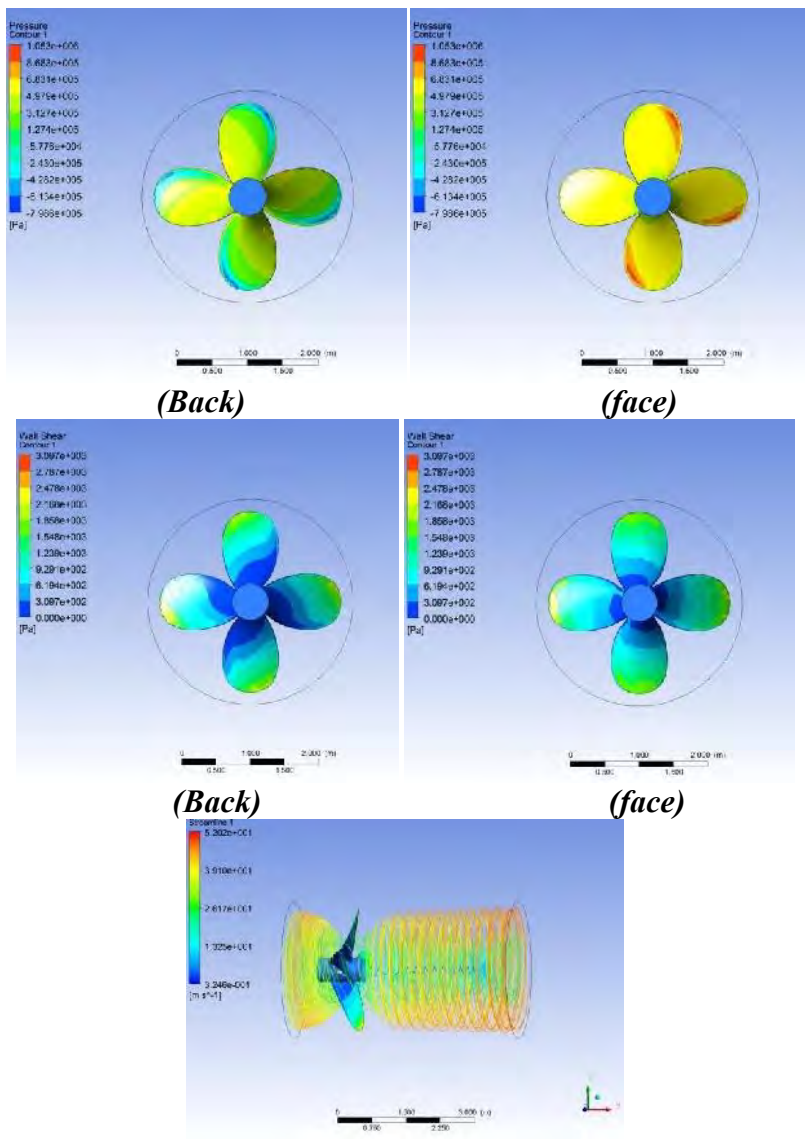
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2700 mm PADA J = 0, 8



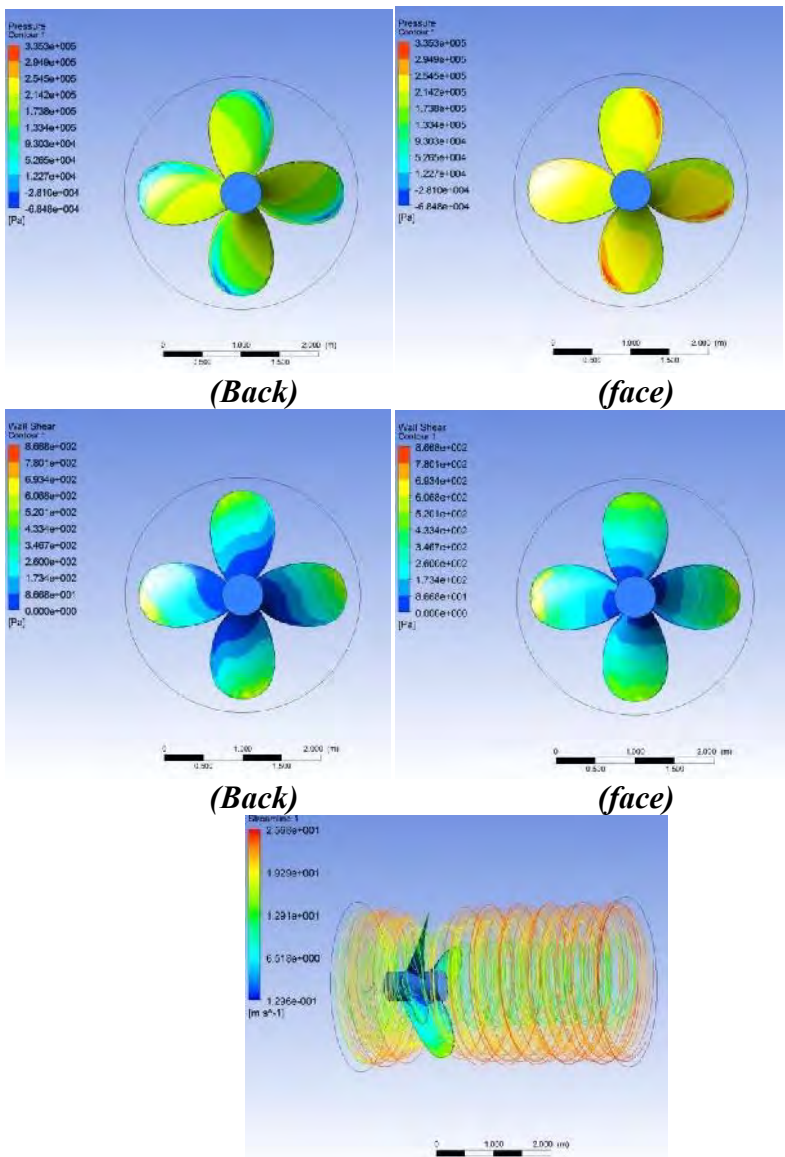
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2700 mm PADA J = 1



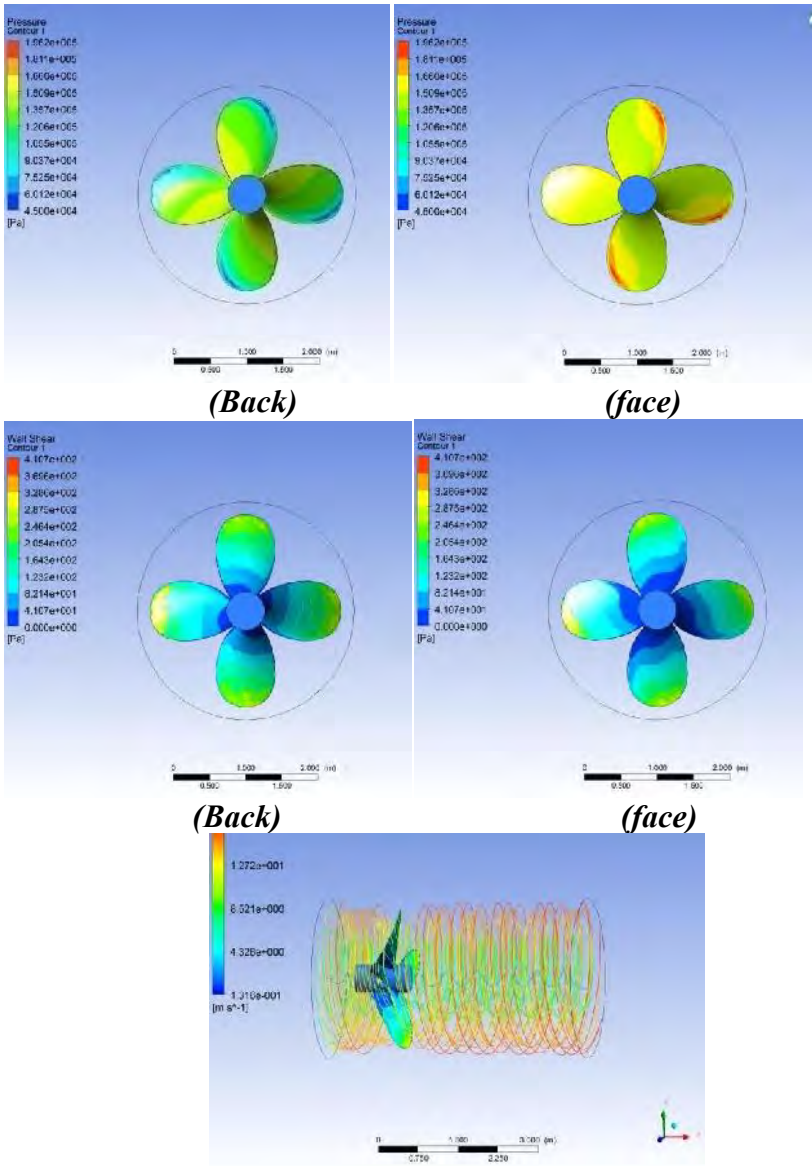
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2650 mm PADA J = 0, 2



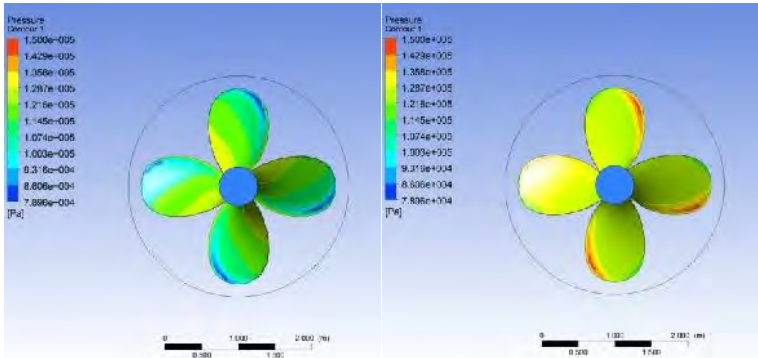
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2650 mm PADA J = 0, 4



GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2650 mm PADA $J = 0,6$

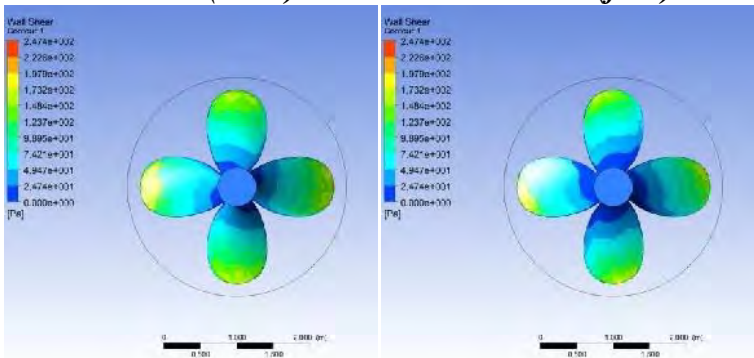


GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2650 mm PADA J = 0, 8



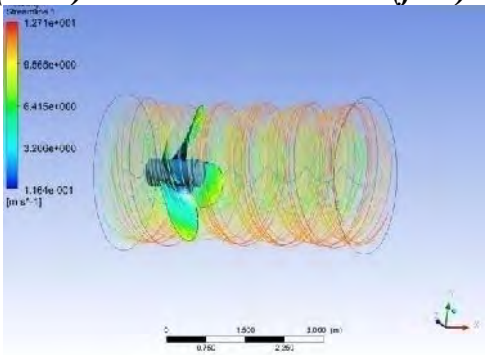
(Back)

(face)

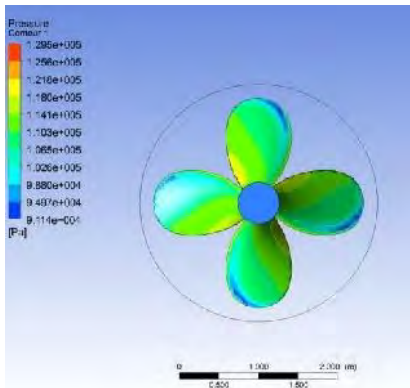


(Back)

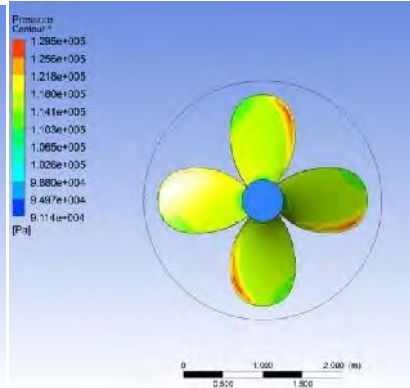
(face)



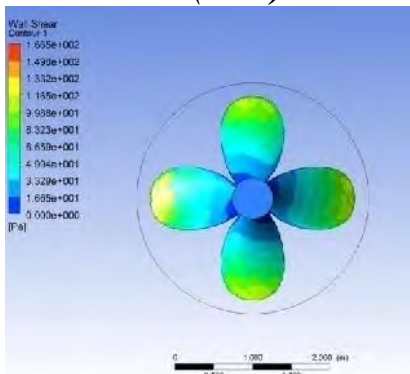
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2650 mm PADA $J = 1$



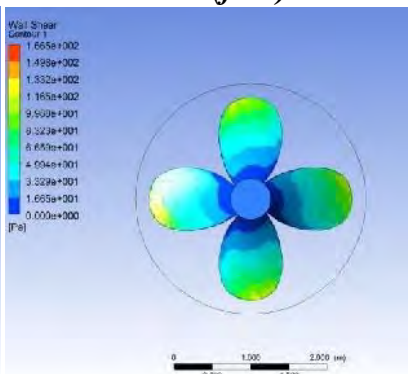
(Back)



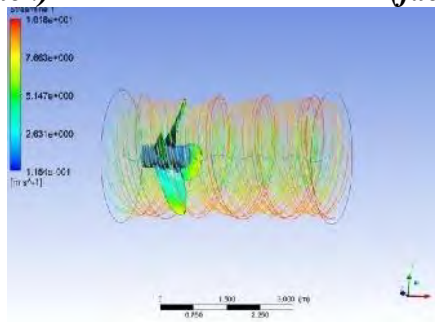
(face)



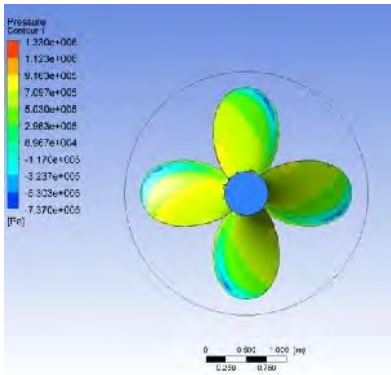
(Back)



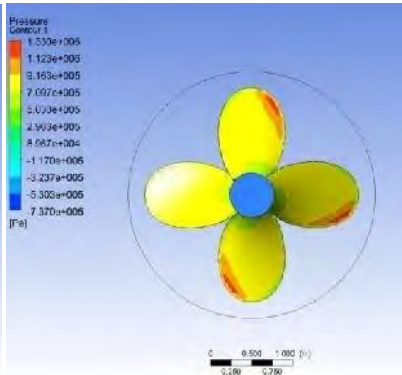
(face)



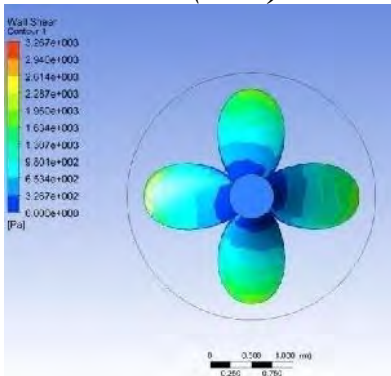
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2600 mm PADA J = 0,2



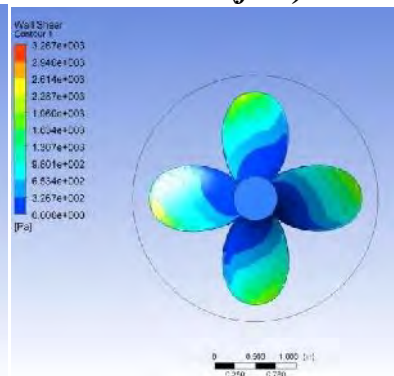
(Back)



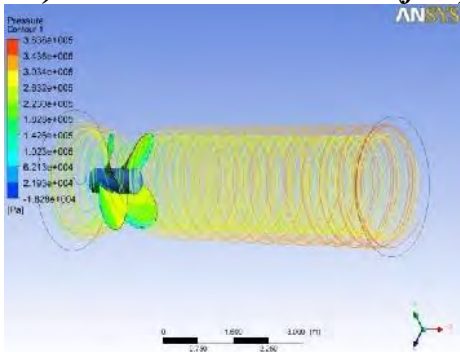
(face)



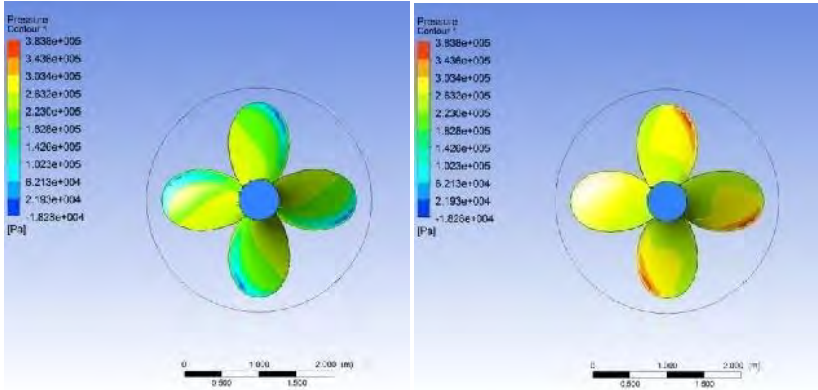
(Back)



(face)

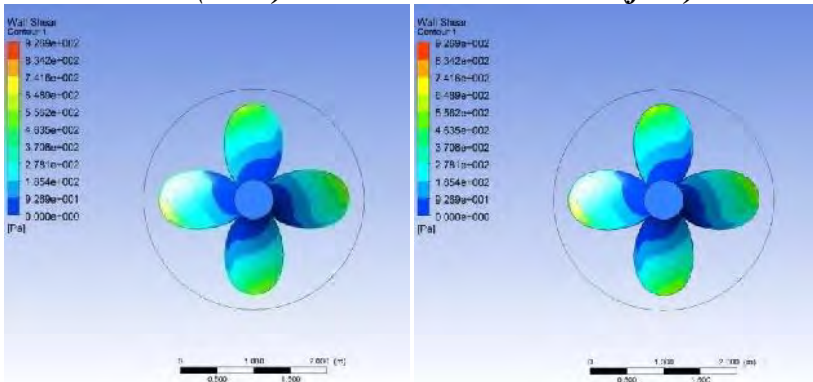


GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2600 mm PADA J = 0,4



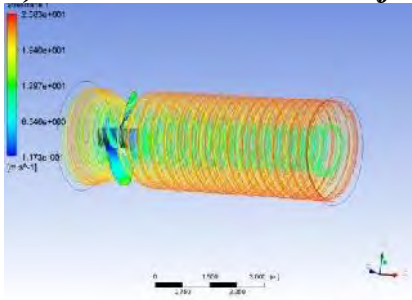
(Back)

(face)

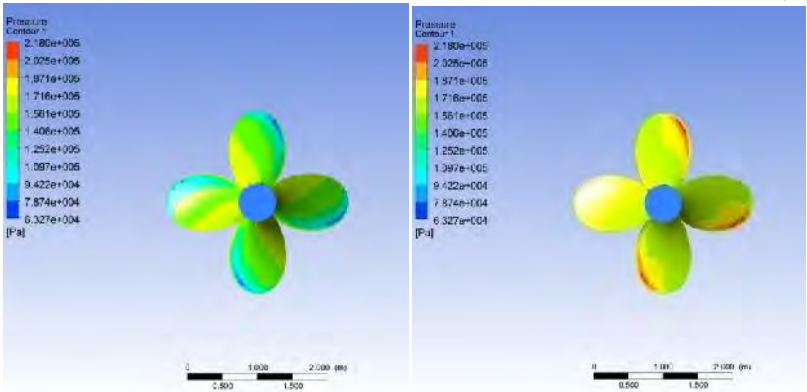


(Back)

(face)

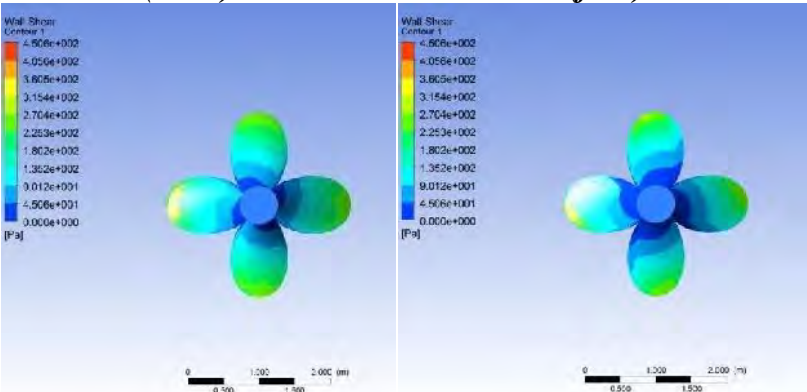


GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2600 mm PADA J = 0,6



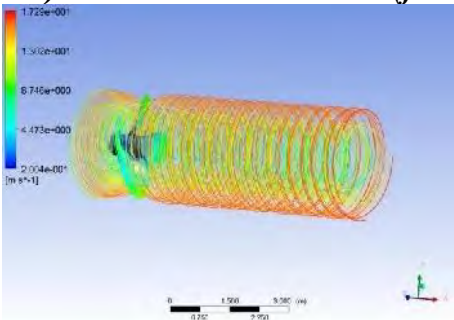
(Back)

(face)

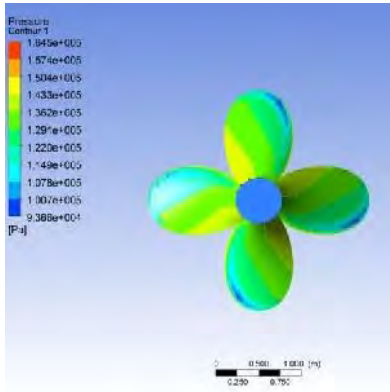


(Back)

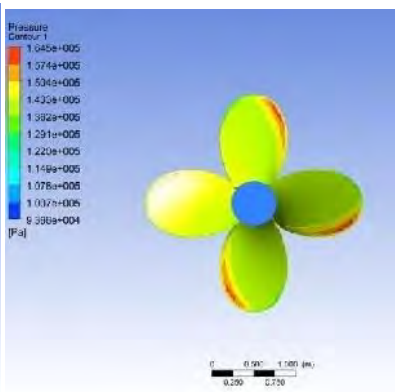
(face)



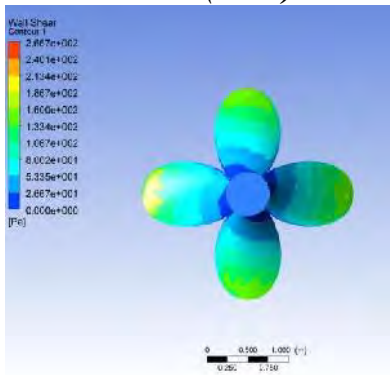
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2600 mm PADA $J = 0,8$



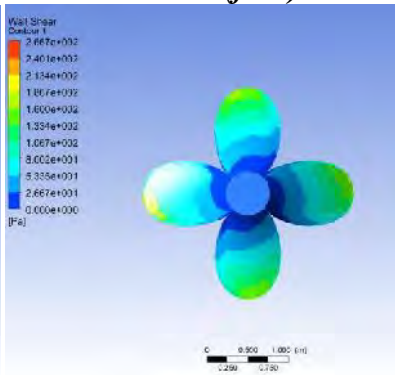
(Back)



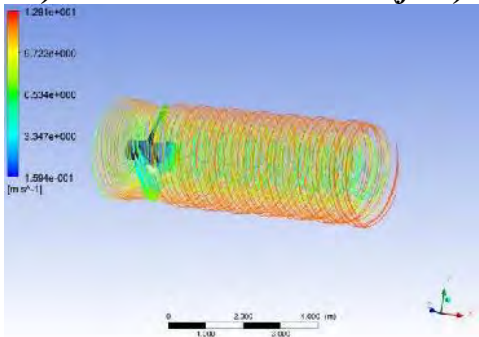
(face)



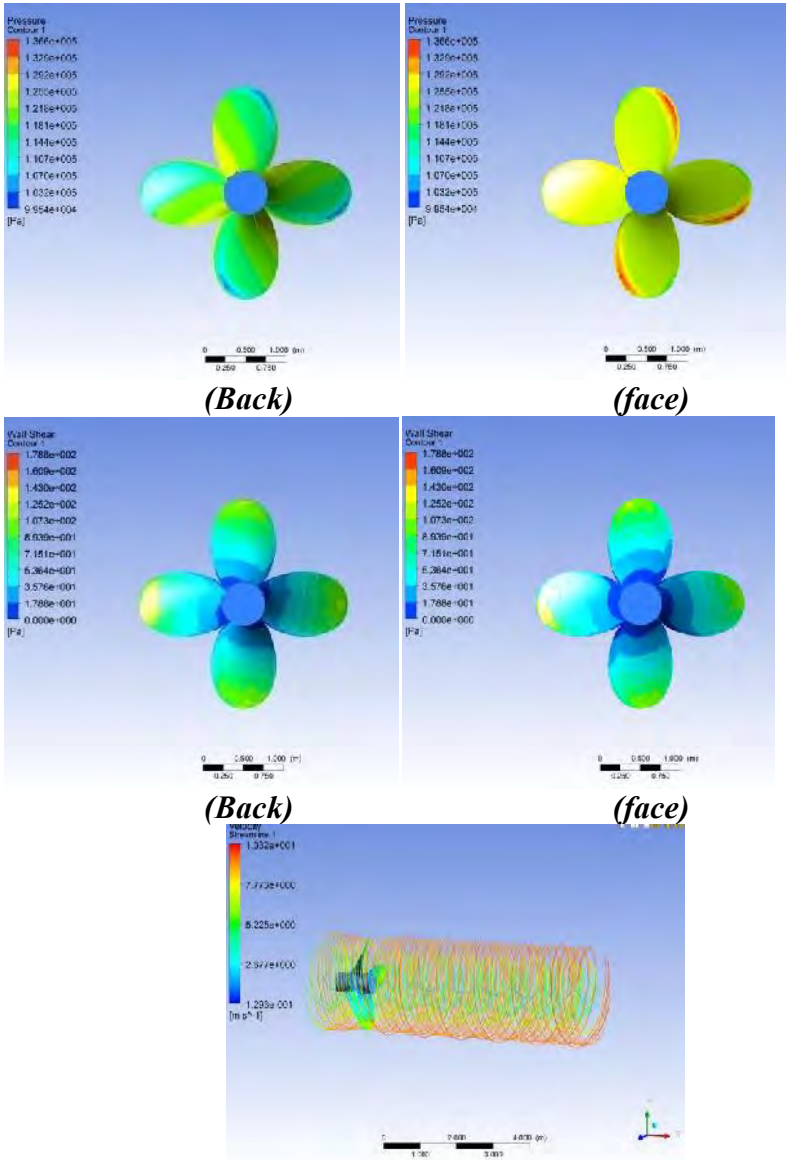
(Back)



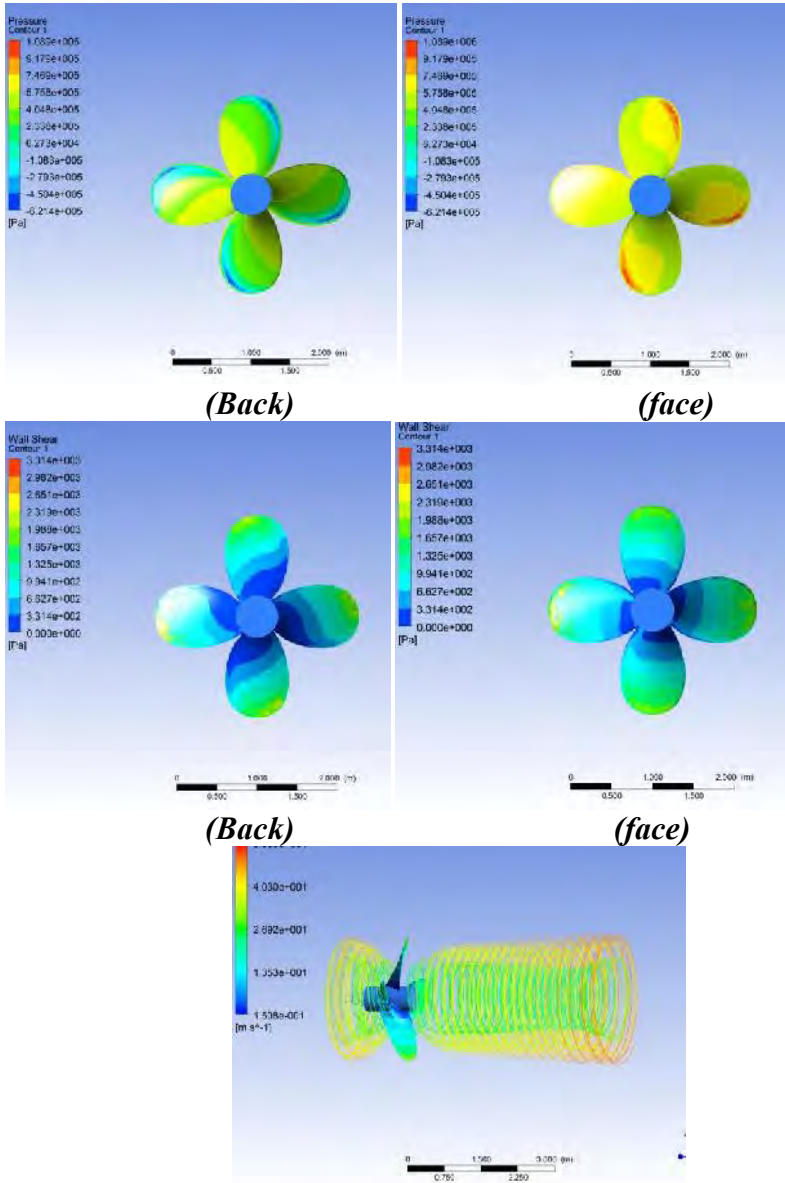
(face)



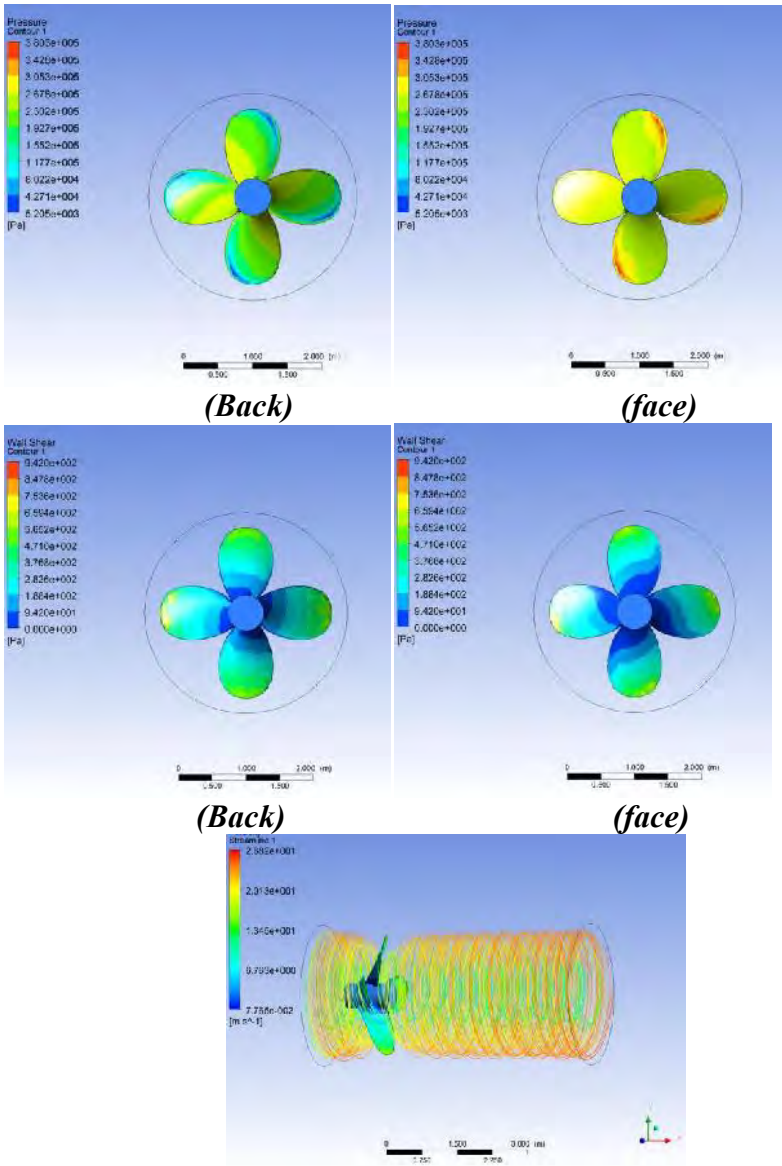
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2600 mm PADA J = 1



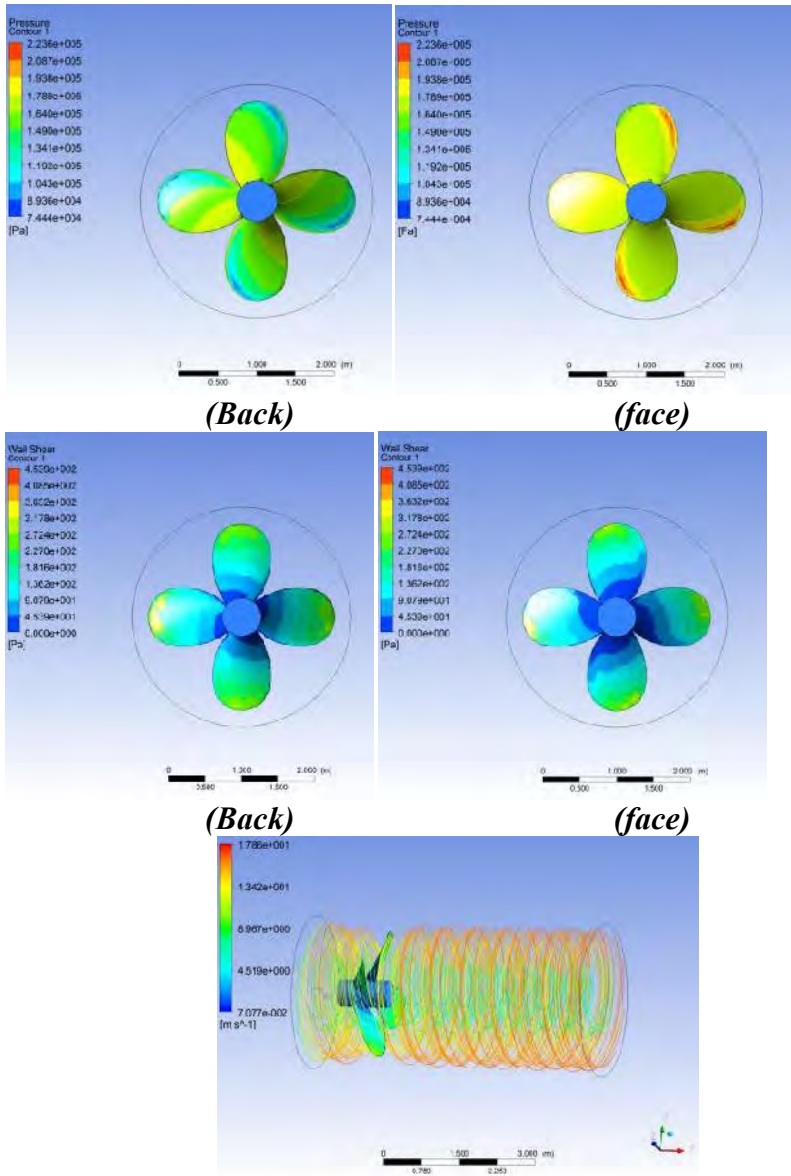
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2550 mm PADA $J = 0,2$



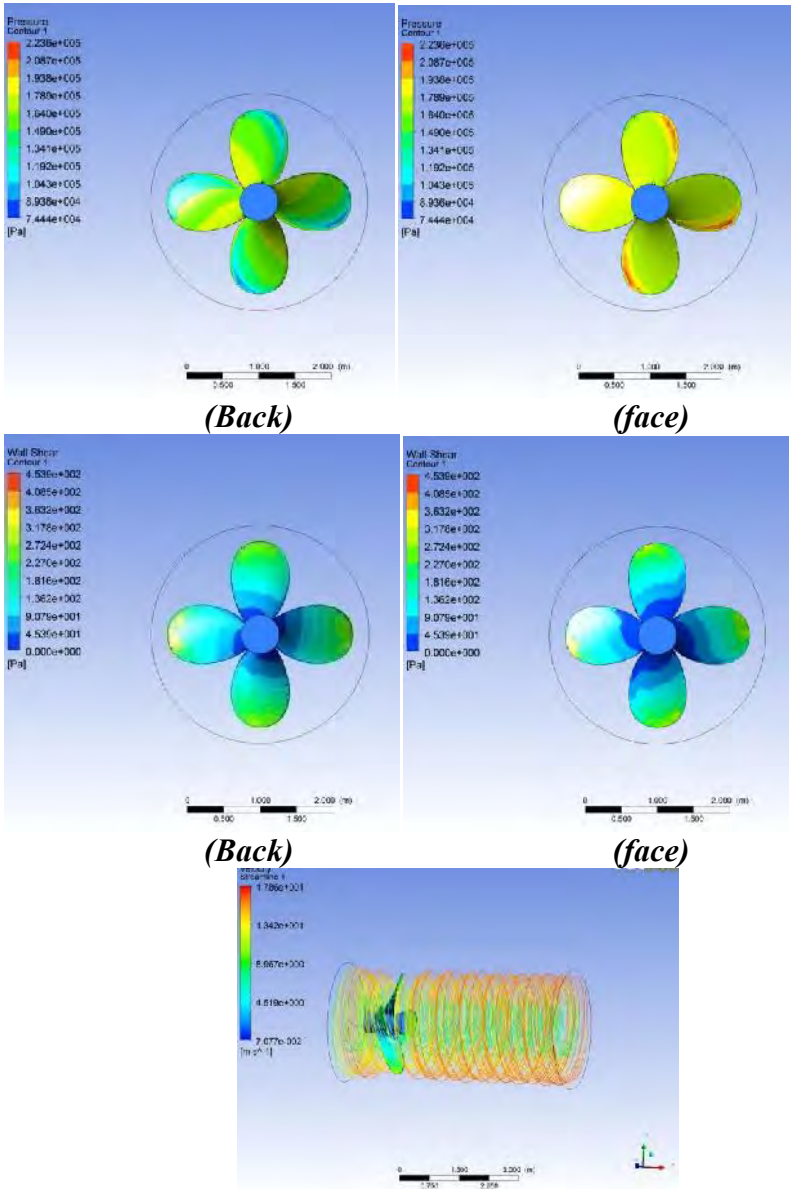
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2550 mm PADA $J = 0,4$



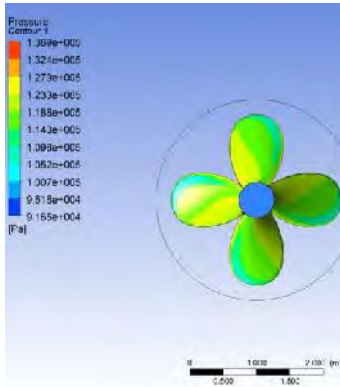
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2550 mm PADA $J = 0,6$



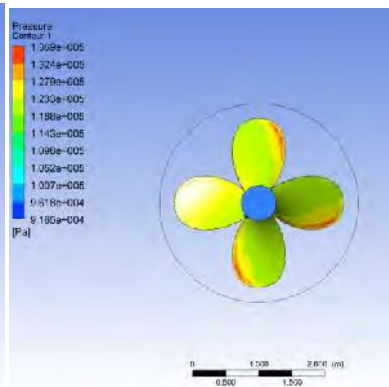
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2550 mm PADA J = 0,8



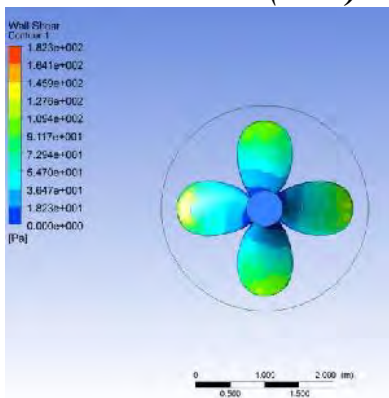
GAMBAR KONTUR TEKANAN, TEGANGAN GESER DAN ALIRAN PROPELLER DIAMETER 2550 mm PADA $J = 1$



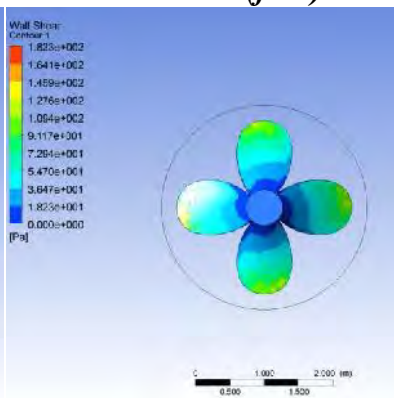
(Back)



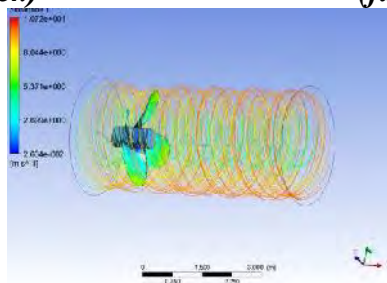
(face)



(Back)



(face)



Meratus Borneo

Container deck ship

Class society	:	ABS
Report number	:	TDH000003640
Date	:	25 May 2012

Propulsion Services

Wärtsilä Netherlands B.V.
Lipsstraat 52
P.O. Box 6
5150 BB Drunen
The Netherlands

www.wartsila.com



Propeller modification study Meratus Borneo

Version	Date	Description	By
0	25 May 2012	-	TC

Ordered by : Meratus lines

References : CS10469590 – TDH000003640
CS10451729 – TDH000003539

Reported by : T.A.J. Cales B.A.Sc.
Project Engineer Hydrodynamics Jr

Checked by : D.H. Swinkels M.Sc.
Project Engineer Hydrodynamics

Approved by : A.A.M. Voermans M.Sc.
Supervisor Hydrodynamic Engineering

© Copyright 2012 by Wärtsilä Netherlands B.V. All rights reserved.

No part of this research report may be reproduced or copied in any form or by any means (electronic, mechanical, graphic, photocopying, recording, taping or other information retrieval systems) without the prior written permission of the copyright holders.

The copyright holder makes no warranties, express or implied, in this research report, no liability whether direct, indirect, special, incidental or consequential, is assumed with respect to the information contained herein. This research report is privileged and confidential and intended for informational purposes only. Any unauthorized use, disclosure, copying, distribution or dissemination is strictly prohibited. Any breach in this respect will be prosecuted.

Summary

This report shows a propeller modification for the Meratus Borneo, a twin screw vessel equipped with four bladed fixed pitch propellers. The customer Meratus Lines indicated they intend to go sailing on a single driven propeller. The second propeller will be left trailing when possible. Sailing on a single driven propeller increases the steepness of the power absorption curve of that propeller, i.e. it runs heavier. The existing propellers on the Meratus Borneo are currently already heavy running in 2-propeller operation mode. Consequently, the existing propellers need to be modified to a greater extent than the modifications proposed in previous modification report TDH000003539 that was focused on solving the heavy running condition in 2-propeller operation mode.

The modification that is proposed in this report results in a sea margin of 10% when running on a single driven propeller with the second propeller trailing. A sea margin of 17% is expected when running on two driven propellers. As a result of the lower power absorption of the modified propeller at nominal shaft speed, the maximum attainable sailing speed will decrease with respect to the current situation. In both 1- and 2-propeller mode, a decrease of approximately 0.5 knots is expected with new maximum sailing speeds of 11.2 and 13.4 knots respectively. Efficiency is expected to increase with 5.5% in 1-propeller operation and decrease with 3.6% in 2-propeller operation.

A consequence of running in 1-propeller operation mode is that the maximum available thrust to slow the vessel down in crash stop conditions is roughly half of that when sailing with 2 driven propellers. This will affect the stopping distance.

Cavitation and strength requirements are met for the modified propeller in both 1- and 2-propeller operation modes.

In Figure S.1 a 3D representation of the original propeller (blue) and the modification (orange) are shown.

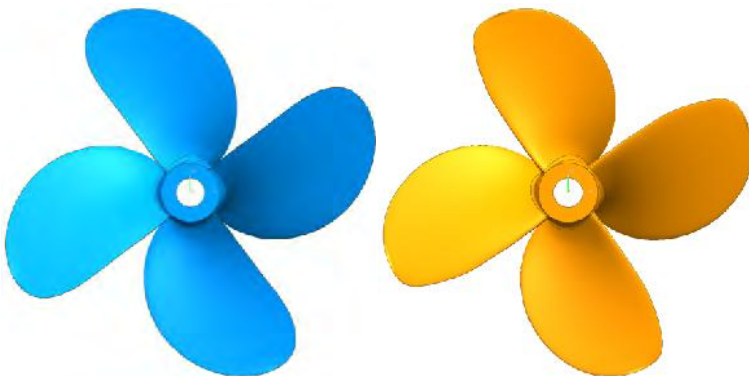


Figure S.1: Conan Wu design and its proposed modification that allows 1-propeller operation

The rotational speed of the trailing propeller shaft should be sufficient to lubricate the bearings and seals. The propeller is expected to start trailing at a vessel speed of approximately 4 knots when accelerating from 0 knots. At 4 knots, the trailing propeller will slowly accelerate to approximately 46 rpm. When decelerating from a vessel speed above 4 knots, the propeller will remain trailing down to 0 knots. The rotational speed of the trailing shaft may however get below the upper limit of the critical rpm range for torsional shaft vibrations. Also, the shaft seals and bearings may not be lubricated well below a certain shaft speed. Therefore, a shaft brake and a shaft speed monitoring system are required to hold the trailing propeller shaft fixed when required.

Contents

SUMMARY	3
1 INTRODUCTION	5
2 VESSEL DATA	6
2.1 VESSEL DATA	6
2.1.1 Vessel details	6
2.1.2 Engine details	6
2.1.3 Propeller details	6
2.2 PROPELLER OPERATING POINT	7
2.2.1 Existing propeller	7
2.2.2 Modified propeller	7
2.3 WAKE FIELD	8
3 ORIGINAL PROPELLER PERFORMANCE	9
4 PROPELLER MODIFICATION PROPOSAL	11
4.1 METHODOLOGY	11
4.2 PROPOSED MODIFICATION	12
4.3 EFFECT AND CONSEQUENCES OF A TRAILING PROPELLER	13
4.4 PERFORMANCE IN 1- AND 2-PROPELLER OPERATION MODES	14
4.4.1 Power absorption and efficiency	14
4.4.2 Cavitation behaviour	15
4.4.3 Blade strength	16
5 CONCLUSIONS AND CONSEQUENCES	17

1 Introduction

This report shows a propeller modification for the Meratus Borneo. This is a twin screw contained deck ship with a capacity of 368 TEU. The vessel is equipped with two 4-bladed fixed pitch propellers (FPP's) designed by Conan Wu. Earlier a study is performed that shows modification proposals in order to solve the heavy running condition on the Meratus Borneo and its sister vessels. In that study, report TDH000003539, it was considered that the vessels sail on both propellers. Later, Meratus Lines, the owner of the Borneo, asked if it is possible to sail on only a single driven propeller and leave the second propeller trailing. The consequence of sailing on a single driven propeller is that this propeller runs heavier than with two propellers driven. As a result, the modifications proposed in TDH000003539 are not sufficient to prevent heavy running when propelling the ship with a single driven propeller.

When operating with two driven propellers, these are currently running heavy i.e. there is no sea margin to accommodate for harsh weather conditions. This can result in an overloaded engine. When sailing on a single driven propeller, the loading of that propeller will increase, resulting in a steeper power absorption curve and hence an even heavier running propeller. To solve this, the necessary modification involves more of the propeller's trailing edge surface to be removed compared to the modification presented in report TDH000003539 that was focused on solving the heavy running in 2-propeller operation mode.

Depending on the vessel speed, the second propeller can be left trailing. At relatively low vessel speeds, the low rotational speed of the propeller shaft does not allow for sufficient lubrication. Furthermore, low shaft speeds can be the cause of torsional shaft vibrations which should also be avoided. Effectively, the second propeller needs to be fixed at 0 rpm below a certain vessel speed.

In this report, a single modification is presented. This modification will result in a sea margin of approximately 10% when sailing with a single driven propeller. As a result of the increased sea margin, the propellers will run lighter in both 1- and 2-shaft operation. Consequently, maximum attainable sailing speeds will decrease after modification.

As a result of the modification, the propellers will be loaded differently. Cavitation and strength calculations are performed to check cavitation behaviour and propeller strength and to determine the power rpm relation after modification.

In this report the results of the study are presented. Chapter 2 shows the general vessel data, followed by a short analysis of the existing Conan Wu propeller design in Chapter 3. Chapter 4 shows the proposed propeller modification and its implications on performance. In chapter 5, the main conclusions and consequences are given.

2 Vessel data

This section shows technical details about the vessel, engine and propulsion system.

2.1 Vessel data

2.1.1 Vessel details

Name	Meratus Borneo	
Vessel type	Container deck ship	
Class society	ABS	
Ice class	None	
Length o.a.	106.7	[m]
Length b.p.	99.1	[m]
Breadth mld.	20.6	[m]
Depth	5.8	[m]
Draught	4.21	[m]
Container capacity	368 TEU	

2.1.2 Engine details

Main engine make & type	Yanmar 6EY26	
Number of engines per shaft line	1	[-]
Maximum Continuous Rating (MCR)	1920	[kW]
Nominal engine speed	750	[rpm]
Gear box ratio	2.58	[-]
Number of shaftlines	2	[-]

2.1.3 Propeller details

Manufacturer	Conan Wu	
Propeller type	FPP	
Propeller drawing	C4494/Q-1-O	
Propeller diameter	2700	[mm]
Mean pitch	1647	[mm]
Number of blades	4	[-]
Blade area ratio	0.62	[-]
Skew extent angle	24.6	[°]
Nominal propeller speed	290.7	[rpm]
Turning direction	Outward turning over the top	
Material	Manganese Bronze ABS type 2	

2.2 Propeller operating point

In order to design a fixed pitch propeller, it is important to have a clear view on the design point of that propeller. The design point consists of a combination of propeller power, shaft speed and vessel speed. Also for a heavy running propeller such as the existing Conan Wu design it is crucial to have reliable information on the current operating point to be able to ascertain the required correction. In this section first the operating point of the existing Conan Wu propeller is determined in paragraph 2.2.1. From this the new operating points in 1- and 2-propeller mode and its consequences can be determined. This is explained in paragraph 2.2.2.

2.2.1 Existing propeller

The propeller analysis is performed based on the power absorption curve that is retrieved from measurements on the port- and starboardside propellers of the Meratus Barito conducted on 18 March 2009. As this vessel is, just as the Meratus Borneo, equipped with the Conan Wu propeller design this is a reliable reference. As concluded in report TDH000003539, the power absorption of the existing propeller is very close to both the test bed engine curve and the nominal propeller curve. Therefore, the nominal propeller curve is used to determine the relationship between propeller power, shaft speed, ship speed and propeller thrust. The current sailing condition at the nominal propeller speed is shown in Table 2.1 below.

The result of the fact that the propeller's power absorption curve is almost equal to the engine's load limit is that the power absorption of the propellers exceeds the engine's load limit in harsh weather conditions or with a fouled hull.

Table 2.1: current sailing condition at nominal engine speed

Design condition		
Total engine power	3840	kW
Total propeller power	3686	kW
Rotation rate of propeller shafts	290.7	rpm
Vessel speed	13.93	knots

Within the calculations 4% of mechanical losses have been taken into account. These are deducted from the engine power to obtain the power absorbed by the propellers.

2.2.2 Modified propeller

With the modified propeller, the vessel should be able to operate on both 2 driven propellers and on the combination of a single driven propeller and a second trailing one. These conditions will be referred to as 2- and 1-propeller operation mode respectively in the following sections of the report. The main requirement for the modified propellers is that they will run sufficiently lighter than the existing propellers. By running lighter the power absorption curve of the propellers will be less steep and therefore will not reach the engine's load limit under normal weather and hull conditions.

The goal of the modification is that the modified propeller will approximately absorb 90% MCR power at the nominal shaft speed in 1-propeller operation mode. In 1-propeller operation mode the ship has to be propelled by a single propeller which increases the load. In addition, the vessel resistance will increase because of the resistance added by the trailing propeller which further increases the propeller load. As a result, the propeller runs significantly heavier in 1-propeller operation mode compared to the 2-propeller operation mode. With other words: the propellers run lighter in 2-propeller operation mode than in 1-propeller operation mode. Consequently, in 2-propeller operation mode each of the propellers will absorb less than 90% MCR at the nominal shaft speed.

The result of the reduction in power absorption compared to the existing propeller is that the modified propeller will generate less thrust at equal shaft speeds. This has an effect on the maximum attainable vessel speed. The actual power absorption of the modified propeller in 1- and 2-propeller operation modes is presented in chapter 4 together with the consequences on maximum attainable vessel speed in both conditions.

2.3 Wake field

For the propeller analysis a wake field is selected from a comparable vessel of the Wärtsilä propeller designs database. This wake field is used for both cavitation analysis and strength calculations. This wakefield is shown in Figure 2.1.

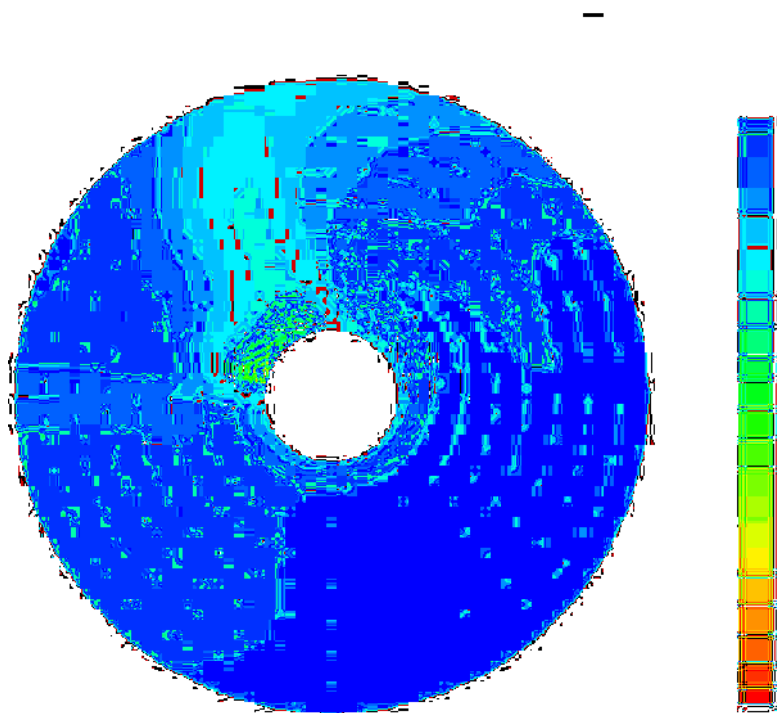


Figure 2.1: wake field used for cavitation and strength analysis

Since the vessel speed at the bollard astern condition is zero, a homogenous wake has been used for determining the hydrodynamic pressures on the blade. This condition is used for crash stop strength calculations.

3 Original propeller performance

Every ship has its own relationship between resistance and ship speed. The resistance increases exponentially with sailing speed. Therefore also the thrust required to overcome this resistance is a function of vessel speed. This thrust needs to be delivered by the propeller(s). When the vessel is operated in 1-propeller operation mode, the thrust that is usually delivered by two propellers now has to be generated by a single propeller.

In addition, some resistance is added by the second non-driven propeller. Therefore the net generated thrust by the propeller needs to be more than twice as high in 1-propeller operation mode compared to the 2-propeller operation mode to attain a certain vessel speed. As a result the propeller will run significantly heavier in 1-propeller operation compared to 2-propeller operation.

As mentioned before, the power absorption of the current Conan Wu propeller is very close to the engine's test bed curve which is equal to the nominal propeller curve. This leaves no sea margin or light running margin when running on two propellers to account for an increase of the vessel's resistance due to e.g. hull surface roughening and/or heavy weather conditions. In 1-propeller operation mode, when the single propeller runs even heavier, the engine will therefore run into its load limit at shaft speeds below the nominal value.

The power absorption curves of the Conan Wu design as measured on 18 March 2009 in 2-propeller operation mode are shown in Figure 3.1 by the red and green lines. Also the nominal propeller curve (blue) and the engine load limit curve (dashed black) are displayed. The figure shows that the power absorption of the propellers is very close to the nominal propeller curve that crosses the engine's upper load limit at the nominal shaft speed of 290.7 rpm. It is concluded that the current power absorption curve in 2-propeller operation mode is equal to the nominal propeller curve. As a result, there is no sea margin at the nominal shaft speed.

Also the power absorption of the current propeller when operating in 1-propeller operation mode is shown in Figure 3.1 by the orange curve. Power absorption exceeds the engine's load limit at a rotational speed well below the nominal engine speed. The current propeller is therefore not suitable for 1-propeller operation at nominal shaft speed.

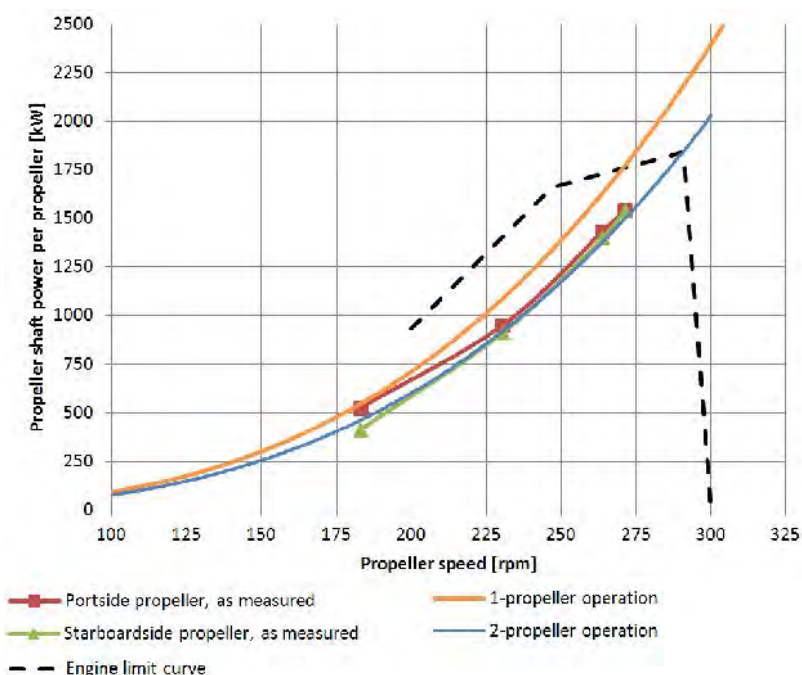


Figure 3.1 power absorption curves in 1- and 2-propeller operation modes for the existing propeller together with engine load limit curve and power measurements conducted on 18 March 2009

In Figure 3.2, the required vessel thrust is shown as a function of ship speed. This graph is used to determine the speed that is expected to be achieved in 1- and 2-propeller operation modes with the modified propeller. The thrust curve has been calculated using the relationships between propeller power, shaft speed and ship speed from the nominal propeller curve. From these relationships the Wärtsilä in-house developed hydrodynamic software is able to derive reliable thrust values.

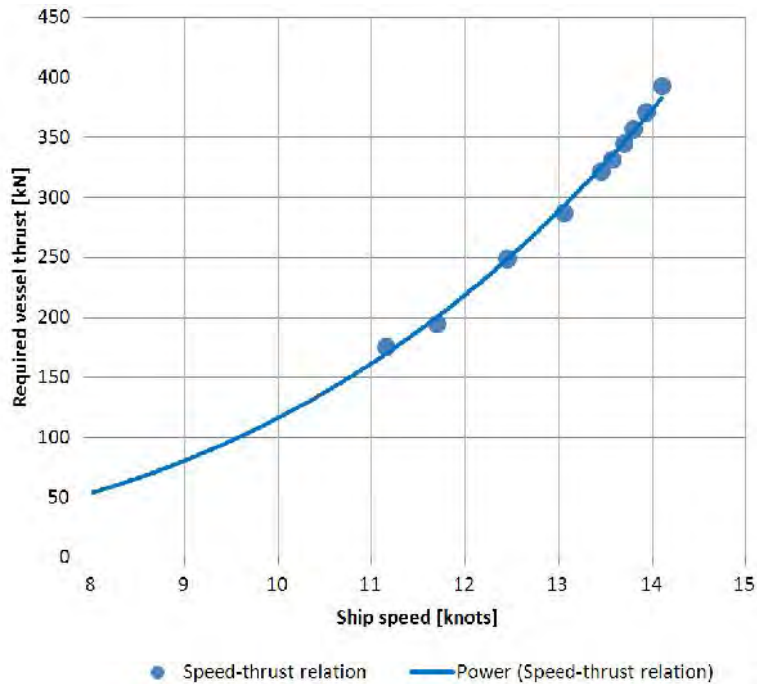


Figure 3.2: the vessel's relationship between thrust and ship speed

4 Propeller modification proposal

In this chapter, the proposed modification is presented. The modification involves cropping of the propellers and chord length reductions at the trailing edges of the blades. This type of modification is called a trailing edge modification or TEM. First, the methodology and working principle of a TEM are explained after which the proposed modification is presented, followed by a paragraph in which the effect and consequences of the trailing propeller in 1-propeller operation mode are determined. This chapter ends by presenting the performance of the modified propeller in 1- and 2-propeller operation modes at nominal shaft speed.

4.1 Methodology

In a trailing edge modification, the trailing edges of a propeller blade are cut by means of reducing chord lengths. A new edge is grinded to the cut in such a way that the tail or trailing edge of the blade is lifted. This is shown in Figure 4.1.

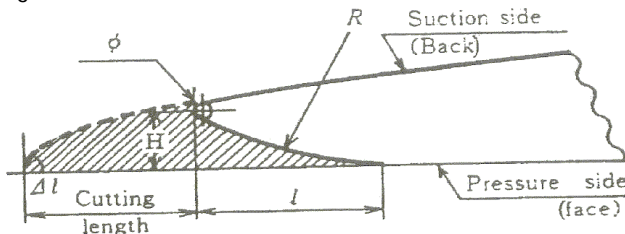


Figure 4.1: in a TEM a part of the trailing edge is cut and a lifted tail is grinded onto it, the dashed part of the profile sections will be removed

Because of the change in the angle of the profile's nose-tail line, the geometrical pitch distribution of the blade is reduced. The cutting also has an effect on the camber distribution of the blade, which has an additional effect on the virtual pitch distribution. The effect on pitch is shown schematically in figure 4.2 on a section profile. By changing the nose-tail line, the pitch angle decreases. This lower pitch results in a lower power absorption curve and thus a lighter running propeller.



Figure 4.2: the effect of a TEM on geometrical pitch shown schematically on a section profile of a propeller blade

There is a limit to the extent of trailing edge material removal because of various reasons. Firstly, if a too large part of the trailing edge is removed, the blade cannot be faired smoothly to the tip. Secondly smaller chord lengths have a negative influence on cavitation behaviour and thirdly the removal of material affects blade strength.

When the effect of removing chord length at the trailing edge of the blade does not sufficiently change the pitch of the propeller, the diameter can be cropped to attain a larger pitch decrease. This also allows more material at the trailing edge to be removed as a new blade tip is formed.

4.2 Proposed modification

The goal of the modification is to achieve a sea margin of approximately 10% at nominal shaft speed in 1-propeller operation mode. Therefore, the Conan Wu propeller has to be modified such that it will absorb 90% MCR power at the nominal shaft speed under ideal circumstances, i.e. a clean hull and calm weather. To obtain an accurate figure of the required pitch correction, the shaft speed at which the existing Conan Wu propeller absorbs 90% MCR power in 1-propeller operation mode was determined. This shaft speed is lower than the nominal shaft speed. From the difference between these two values, a relative rpm correction is calculated. This correction is achieved by changing the pitch of the propeller by means of a TEM in combination with diameter cropping.

The diameter of the new propeller is 2600 mm, a reduction of 100 mm. A 3D representation of the modified propeller together with the existing propeller is shown in Figure 4.3. Furthermore in Table 4.1 an overview of the main particulars of the existing and modified propeller designs is presented.

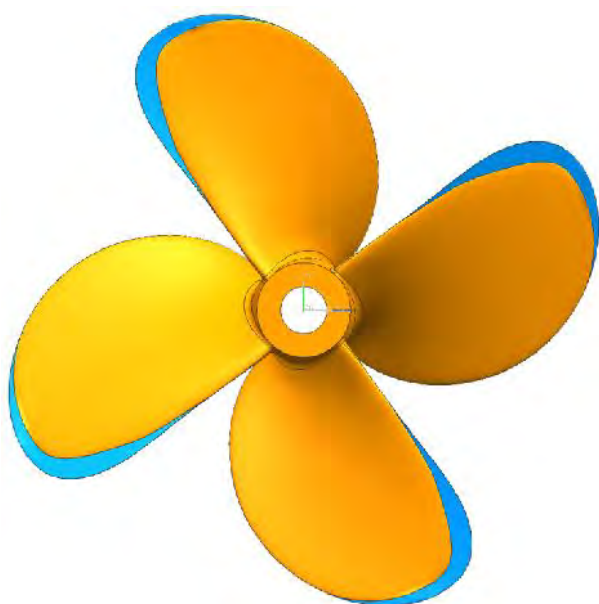


Figure 4.3: 3D representation of the proposed modification (orange) on top of the existing propeller (blue)

Table 4.1: main geometric particulars of the existing and proposed modified propeller design

	Existing propeller	Modified propeller
Diameter	2700 mm	2600 mm
Mean virtual pitch	2044 mm	1890 mm
Blade area ratio	0.604	0.605
Blade area	3.46 m ²	3.21 m ²
Skew extent angle	24.6°	18.6°
Propeller mass	1725 kg	1702 kg

4.3 Effect and consequences of a trailing propeller

In 1-propeller operation mode, one of both propellers will be left trailing. A trailing propeller results in lower additional resistance compared to a fixed propeller. This is beneficial for efficiency. In order to let the propeller rotate freely, certain requirements have to be met. To prevent damage to the shaft and/or shaft seals and bearings, the rotational speed of the trailing propeller shaft should be sufficient to lubricate the bearings and seals. Also the rotational speed of the trailing propeller should be above the critical rpm range with respect to torsional shaft vibrations. Next to that, it is important to know the resistance that is added by the trailing propeller to come to a reliable prediction of the maximum vessel speed in 1-propeller operation mode.

For the shaft to start rotating when accelerating the vessel, the static friction of the bearings needs to be overcome. The static frictional torque of the seals and bearings on the Meratus Borneo is expected to be 1.87 kNm. This figure is calculated based on the dimensions of the seals and bearings and the type of lubrication. When the static frictional torque is overcome, the shaft will start rotating. The dynamic frictional torque will remain which is much lower than the static frictional torque. Dynamic frictional torque is expected to be 87 Nm. This dynamic frictional torque will not allow the propeller to trail at a speed at which it generates neither thrust nor resistance. It will slightly slow the shaft down, thereby introducing a resistance from the trailing propeller.

The method of Robinson is used to determine the dependence of shaft torque on propeller speed and resistance. By plotting torque curves for several vessel speeds, the relations between both the propeller's trailing speed and resistance have been determined as a function of vessel speed. These relations are shown in Figure 4.4.

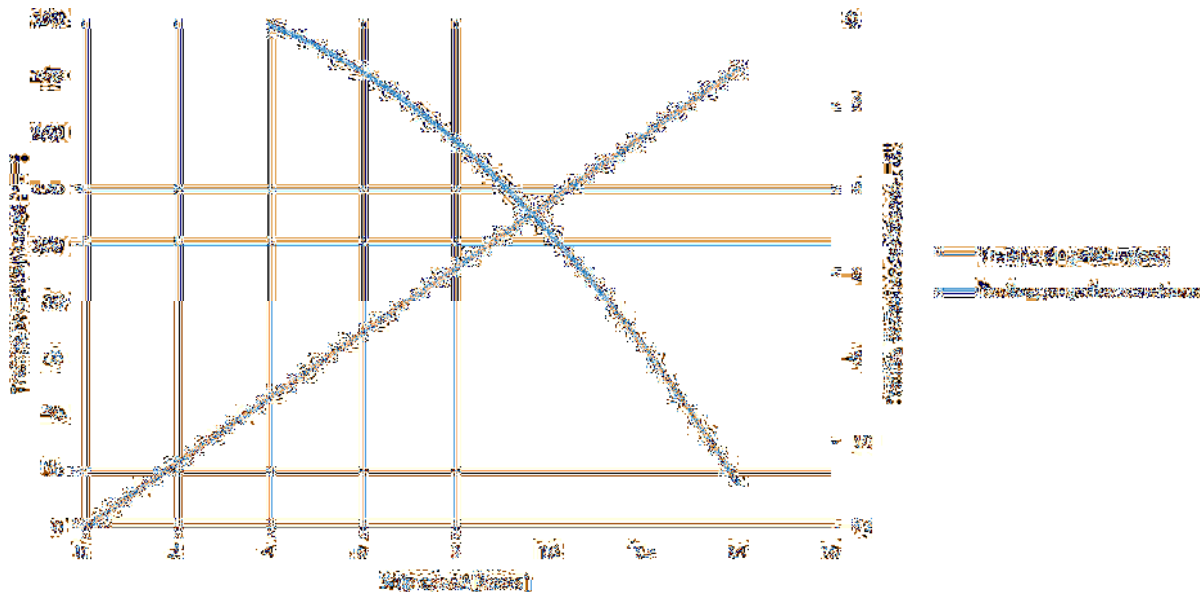


Figure 4.4: trailing propeller's speed and resistance as a function of vessel speed

According to the calculations, the propeller is expected to start trailing at a vessel speed of approximately 4 knots when accelerating from 0 knots. At this vessel speed, the propeller will slowly accelerate to approximately 46 rpm. When the vessel is decelerated from a speed over 4 knots, the non-driven propeller will remain trailing just before the vessel comes to a halt.

To ensure that the shaft seals and bearings remain well lubricated with a trailing propeller, the propeller shaft should at least be held fixed up to a vessel speed of 6 knots. The propeller should also not be left trailing below the upper limit of the critical shaft speed range for torsional vibrations. The corresponding lower limit vessel speed can be looked up in Figure 4.4.

To hold the propeller shaft fixed in the critical range, a shaft brake is required. Also a shaft speed monitoring system is required to automatically detect when the shaft should be held fixed and when it is allowed to let the propeller

trail.

4.4 Performance in 1- and 2-propeller operation modes

4.4.1 Power absorption and efficiency

The power absorption of the modified propeller in 1- and 2-propeller operation modes is shown in Figure 4.5. It is clear that the power absorption will significantly change with respect to the existing propellers. After the modification it is possible to reach the nominal engine speed in both 1- and 2-propeller operation without running into the engine's load limit. The new sea margin will be 10% in 1-propeller operation mode and 17% in 2-propeller operation mode at the nominal shaft speed.

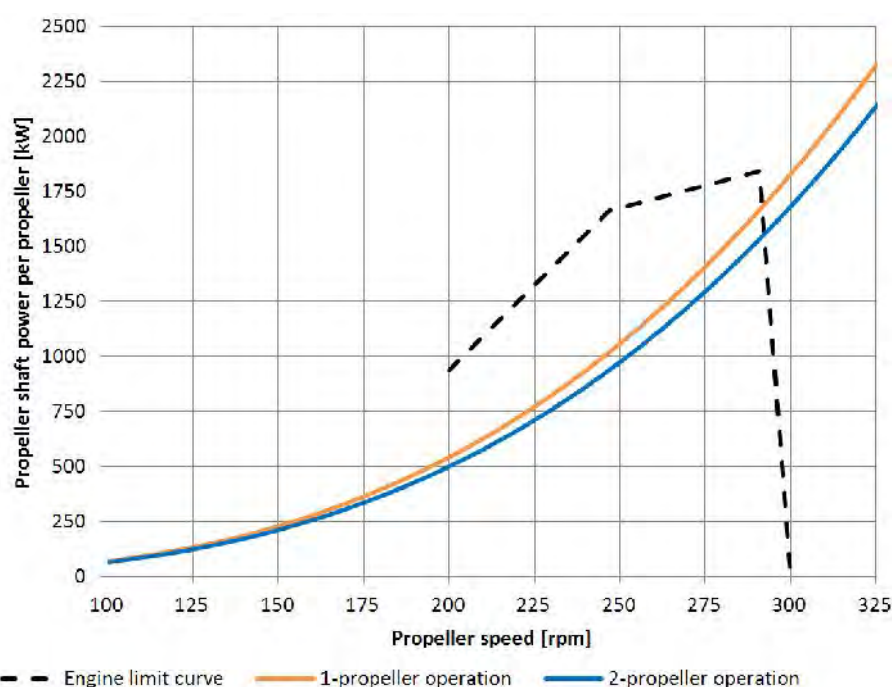


Figure 4.5: power absorption curve in 1- and 2-propeller operation for the modified propeller

Due to the lower maximum power absorption, the maximum attainable thrust and subsequently the maximum attainable vessel speed will decrease in 2-propeller operation mode. In 1-propeller operation mode, the maximum attainable vessel speed will be a few knots lower than when sailing in 2-propeller mode. This is a result of the fact that only a little more than half of the power is absorbed by the single driven propeller compared to situation in which both propellers absorb power.

When sailing at lower sailing speeds, a diameter smaller than the existing 2700 mm is favourable from an efficiency point of view. Therefore the modified propeller offers higher efficiency in 1-propeller operation, but lower efficiency in 2-propeller operation compared to the existing propeller. Propulsive efficiency improves by 5.5% in 1-propeller operation mode and decreases by 3.6% in 2-propeller operation mode.

In the bollard astern (BAS) crash stop condition, the maximum delivered thrust is limited by the engine torque. In 1-propeller operation mode the available engine power is only half of that in 2-propeller operation mode. Hence, the available thrust will also be roughly halved. This has consequences for the stopping distance at a crash stop. Compared to the existing propeller, bollard thrust however will increase due the higher propeller speed that can be attained as a result of the lighter running propellers. This holds for both 1- and 2-propeller operation.

The performance of the proposed modified and existing propeller designs in both 1- and 2-propeller operation are shown in Table 4.2.

Table 4.2: overview of the performance of the modified and existing propeller design in 1- and 2-propeller operation

	Existing propeller		Modified propeller		Unit
	1-propeller	2-propeller	1-propeller	2-propeller	
Maximum vessel speed	11.7	13.9	11.2	13.4	knots
@ propeller speed	274.7	290.7	290.7	290.7	rpm
@ propeller power	1843	1843	1664	1530	kW
% of MCR	100 %	100 %	90 %	83 %	-
Sea margin @ nominal rpm	-18 %	0 %	+10 %	+17 %	-
Trailing propeller resistance	7.3	-	6.6	-	kN
Open water efficiency	45.5 %	54.3 %	48.0 %	52.4 %	-
Efficiency gain/loss	-	-	+5.5 %	-3.6 %	-

4.4.2 Cavitation behaviour

In Figure 4.6 and Figure 4.7 the cavitation behaviour for the suction side cavitation is shown for the modification in 1- and 2-propeller operation respectively at nominal shaft speed. Harmful pressure side cavitation is not present. The amount of cavitation increases with respect to that on the existing blades under similar circumstances due to the decrease in chord length in the tip region. The sheet cavitation however still develops nicely in the direction of the tip and dissolves into a tip vortex. No harmful kinds of cavitation such as blade root or bubble cavitation are present and therefore the cavitation behaviour is acceptable for both 1- and 2-propeller operation modes.

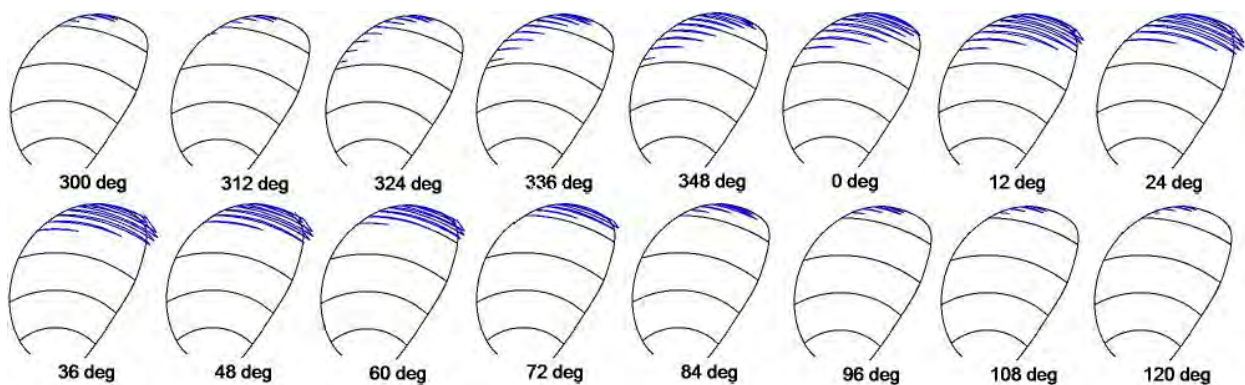


Figure 4.6: suction side cavitation at nominal rpm in 1-propeller operation mode

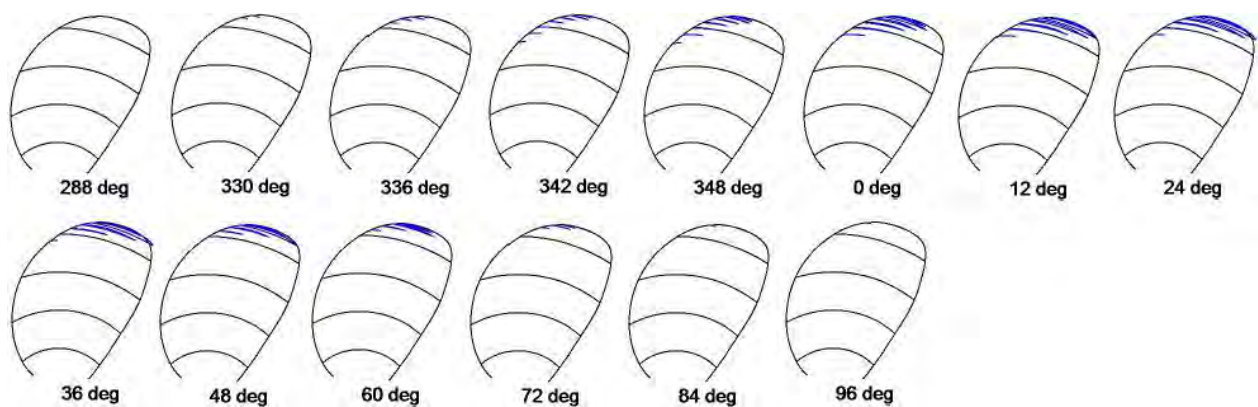


Figure 4.7: suction side cavitation at nominal rpm in 2-propeller operation mode

4.4.3 Blade strength

Strength calculations are performed for the free sailing ahead condition at 100% MCR and the bollard astern (BAS) crash stop condition at maximum engine torque. The calculation are performed with the commercial FEM software package ANSYS.

The maximum stress distributions in 1- and 2-propeller operation while sailing ahead at 100% MCR are shown in Figure 4.8. Maximum stresses occur in the blade foot area. The results are checked against the Wärtsilä internal requirements for Manganese Bronze, resulting in safety factors of 3.41 and 3.38 for 1- and 2-propeller mode respectively which is well above the minimum required 1.80.

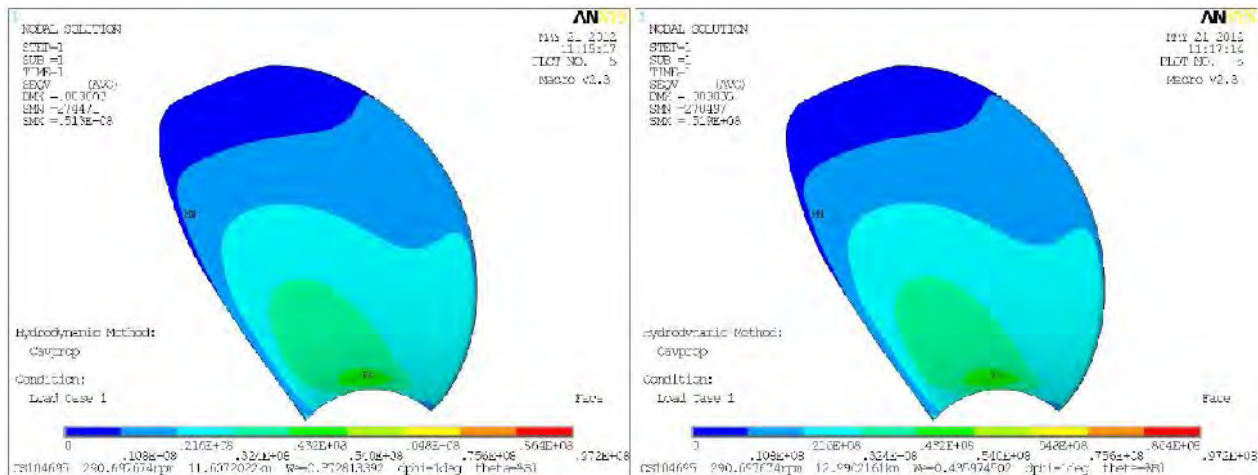


Figure 4.8: stress distributions over the blade in 1-propeller operation (left) and 2-propeller operation (right)

In the BAS crash stop condition, the highest stresses occur at the trailing edge of the blade with a maximum of 22.9 MPa. This results in a safety factor of 7.65, well above the minimum required 1.55. The stress distribution is shown in Figure 4.9.

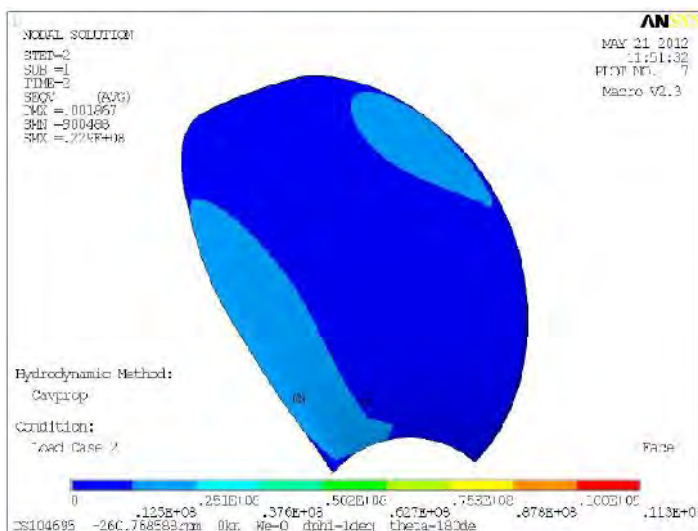


Figure 4.9: stress distribution over the blade in the bollard astern crash stop condition

5 Conclusions and consequences

In this final chapter, the main conclusions and consequences from the report are synoptically summarized. These are shown below.

- The propeller currently installed on the Meratus Borneo is heavy running in 2-propeller operation mode.
- In 1-propeller operation mode with one driven and one trailing propeller, the single driven propeller runs even heavier compared to 2-propeller operation mode.
- A trailing edge modification is proposed in order to result in a propeller with a sufficient sea margin in both 1- and 2-propeller operation modes. This modification consists of cropping the propeller diameter by 100 mm to 2600 mm and decreasing the pitch.
- Running in 1-propeller operation mode will result in a sea margin of 10% and a maximum attainable sailing speed of 11.2 knots. This is a decrease of 0.5 knots compared to the performance of the existing propeller.
- Free sailing efficiency increases by 5.5% in 1-propeller operation mode compared to that of the existing propeller.
- Running in 2-propeller operation mode will result in a sea margin of 17% and a maximum attainable sailing speed of 13.4 knots. This is a decrease of 0.5 knots compared to the performance of the existing propeller.
- Free sailing efficiency decreases by 3.6% in 2-propeller operation mode compared to that of the existing propeller.
- Thrust in the crash stop condition will roughly be halved in 1-propeller operation mode compared to 2-propeller operation mode. This will affect the vessel's stopping distance.
- In both 1- and 2-propeller operation modes, the modified propeller fulfils both cavitation and strength requirements.
- To prevent damage to the shaft, seals and bearings, a shaft brake with a trailing propeller shaft speed monitoring system is required. The brake is used to hold the propeller fixed at shaft speeds where the lubrication of the seals and bearings is insufficient and to hold the shaft fixed when there is a risk for shaft torsional vibrations.
- To ensure sufficient lubrication of the seals and bearings, the trailing propeller shaft should at least be kept fixed up to a vessel speed of 6 knots.

BIODATA PENULIS



Terlahir dengan nama lengkap Dimas Adiyatma Dwi Rahman di kota Mojokerto pada tanggal 21 Desember 1991. Merupakan anak Kedua dari 2 bersaudara dari pasangan orang tua Abdulloh dan Siti Zulaihah. Masa kecil penulis dihabiskan di Mojokerto hingga SMA. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di SDN Jumeneng II Mojoanyar , SMPN 1 Bangsal , dan SMAN 1 Sooko Mojokerto. Penulis kemudian melanjutkan studinya pada tahun 2010 di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS-ITS) Lulus 2013 lalu melanjutkan sekolah Lintas Jalur (LJ) Di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan. Selama masa studi di ITS penulis Memilih Laboratorium Marine Manufacturing and Design (MMD) untuk menyelesaikan skripsinya dengan judul “ Studi Kasus Modifikasi Daun Propeller Pada MV. Meratus Barito untuk menyelesaikan pendidikan S1.